This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

ACA 0150

Rebound 1938

Library of the Museum

OF

COMPARATIVE ZOÖLOGY,

AT HARVARD COLLEGE, CAMBRIDGE, MASS.

The gift of Académie Royale

No. 159

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE ROYALE

DES

SCIENCES, DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS

DE BELGIQUE

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE

DES

SCIENCES DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS

DE BELGIQUE

TOME XLIX

BRUXELLES,
F. HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES, DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS DE BELGIQUE,
rue de Louvain, 112

OCTOBRE 1890 A JUILLET 1893

Digitized by Google

37/62
12-33
Digitized by Google

RECEIVED
NOV 28 1898

LISTE DES MEMBRES,

DES

CORRESPONDANTS ET DES ASSOCIÉS DE L'ACADÉMIE

(1er juillet 1893.)

LE ROI, Protecteur.

Ch. Van Bambeke, président pour 1893.
Marchal, le chev. Edm., secrétaire perpétuel.

COMMISSION ADMINISTRATIVE.

Le directeur de la Classe des Sciences, Ch. Van Bambeke.
» » des Lettres, P. Henrard
» » des Beaux-Arts, Ad. Samuel.
Le Secrétaire perpétuel, le chevalier Edmond Marchal.
Le délégué de la Classe des Sciences, Fr. Crépin, *trésorier*.
» » des Lettres, Alp. Wauters.
» » des Beaux-Arts, Éd. Fétis.

Digitized by Google

CLASSE DES SCIENCES.

Ch. Van Bambeke, directeur pour 1893.
Marchal, le chev. Edm., secrétaire perpétuel.

30 MEMBRES.

Section des sciences mathématiques et physiques (15 membres).

Maus, Michel-Henri-Joseph, ✠ G. O.; à Ixelles	Élu le 15 déc. 1864.
Donny, Francois-Marie-Louis, ✠ O.; à Gand	— 15 déc. 1866.
Brialmont, H.-Alexis, ✠ G. C.; à Saint-Josse-ten-Noode.	— 15 déc. 1869.
Folie, François, ✠ O.; à Uccle	— 15 déc. 1874.
De Tilly, Joseph, ✠ O.; à Ixelles	— 16 déc. 1878.
Van der Mensbrugghe, Gustave, ✠; à Gand	— 14 déc. 1883.
Spring, Walthère, ✠; à Liége	— 15 déc. 1884.
Henry, Louis, ✠ O.; à Louvain	— 15 déc. 1886.
Mansion, Paul, ✠ O ; à Gand	— 15 déc. 1887.
De Heen, Pierre; à Liége	— 14 déc. 1888.
Le Paige, Constantin-M.-M.-H.-J. ✠; à Liége	— 15 déc. 1890.
Marchal, le chevalier Edm.-L.-J.-G., ✠; à Saint-Josse-ten-Noode	— 5 mai 1891.
Lagrange, Charles; à Ixelles	— 15 déc. 1891.
Terby, François; à Louvain	— 15 déc. 1891.
Deruyts, Jacques; à Liége	— 15 déc. 1892.

Section des sciences naturelles (15 membres).

Van Beneden, Pierre-Joseph, ✠ G. O.; à Louvain	Élu le 15 déc. 1842.
de Selys Longchamps, le b^on Edm., ✠ G. O.; à Liége	— 16 déc. 1846.
Gluge, Théophile, ✠ C.; à Bruxelles	— 15 déc. 1849.
Dewalque, Gustave-G.-J., ✠ C.; à Liége	— 16 déc. 1859.
Candèze, Ernest-C.-A, ✠; à Glain (Liége)	— 15 déc. 1864.
Dupont, Édouard-L.-F., ✠ O.; à Boitsfort	— 15 déc. 1869.
Van Beneden, Édouard, ✠ O; à Liége	— 16 déc. 1872.
Malaise, Constantin-H.-G.-L. ✠; à Gembloux	— 15 déc. 1873.
Briart, Alph., ✠ O.; à Morlanwelz	— 15 déc. 1874.
Plateau, Félix-A.-J., ✠ O.; à Gand	— 15 déc. 1874.

Digitized by Google

Crépin, François, ✠ O.; à Bruxelles . . . . Élu le 15 déc. 1875.
Van Bambeke, Charles-E.-M., ✠; à Gand . . . . . . — 15 déc. 1879.
Gilkinet, Alfred-Charles, ✠; à Liége . . . . — 15 déc. 1880.
Mourlon, Michel-J., ✠ O.; à Bruxelles . . . . . . — 15 déc. 1886.
Delboeuf, Joseph-R.-L., ✠; à Liége . . . . — 15 déc. 1887.

CORRESPONDANTS (10 au plus).

Section des sciences mathématiques et physiques.

Valerius, Hubert, ✠ O.; à Gand . . . . Élu le 15 déc. 1869.
Neuberg, J., ✠; à Liége . . . . — 15 déc. 1891.
Lancaster, Albert; à Uccle . . . . — 15 déc. 1892.
Jorissen, Armand; à Liége . . . . — 15 déc. 1892.
N. . . . .

Section des sciences naturelles.

Fredericq, Léon, ✠; à Liége . . . . Élu le 15 déc. 1879.
Masius, J.-B.-N.-Voltaire, ✠ O.; à Liége . . . . . — 15 déc. 1880.
Renard, Alphonse-F., ✠ O.; à Wetteren. . . . . . . — 15 déc. 1882.
Errera, Léo; à Bruxelles . . . . — 15 déc. 1887.
Vanlair, Charles, ✠ O.; à Liége . . . . — 14 déc. 1888.

50 ASSOCIÉS.

Section des sciences mathématiques et physiques (25 associés).

Kekulé, Frédéric-Auguste, ✠; à Bonn . . . . . . Élu le 15 déc. 1864.
Bunsen, Robert-Guill.-Eberh., ✠ O.; à Heidelberg . . — 15 déc. 1865.
Catalan, Eugène-Charles, ✠ O.; à Liége. . . . . . — 15 déc. 1865.
de Colnet d'Huart, Alexandre; à Luxembourg . . . — 15 déc. 1873.
Helmholtz, Hermann-Louis-F.; à Berlin . . . . . . — 15 déc. 1873.
Menabrea, marquis de Val-Dora, le comte Ls-Fic, ✠ G.C.;
à Florence. . . . . — 15 déc. 1874.
Struve, Otto; à Poulkova. . . . . — 15 déc. 1874.
Faye, Hervé-Aug.-Et.-Albans; à Paris . . . . . . — 16 déc. 1878.
Kelvin (Lord) (William Thomson), ✠ C.; à Glasgow . — 16 déc. 1878.
Pasteur, Louis; à Paris . . . . — 15 déc. 1879.
Schiaparelli, Jean-Virginius; à Milan. . . . . . . — 15 déc. 1879.
Tyndall, John; à Londres. . . . . — 14 déc. 1883.
Thomsen, Julius; à Copenhague. . . . . — 15 déc. 1887.
Weierstrass, Charles; à Berlin. . . . . — 14 déc. 1888.

Digitized by Google

Berthelot, Marcelin-P.-E.; à Paris . . . . Élu le 16 déc. 1889.
Hermite, Charles; à Paris. . . . . — 16 déc. 1889.
Cayley, Arthur; à Cambridge . . . . — 15 déc. 1890
Fizeau, Louis; à Paris. . . . . — 15 déc. 1890.
von Bayer, Adolphe; à Munich . . . . — 15 déc. 1890.
Newcomb, Simon; à Washington . . . . — 15 déc. 1891.
Van der Waals, J.-D.; à Amsterdam . . . . — 15 déc. 1891.
Brioschi, François; à Milan.. . . . . — 15 déc. 1892.
Foerster, W.; à Berlin . . . . — 15 déc. 1892.
Friedel, Charles; à Paris. . . . . — 15 déc. 1892.
Cornu, Alfred; à Paris . . . . — 15 déc. 1892.

Section des sciences naturelles (25 associés).

Dana, James-Dwight; à New-Haven (États-Unis) . . — 15 déc. 1864.
Hooker, Joseph-Dalton; à Kew (Angleterre) . . . . — 16 déc. 1872.
Ramsay, André-Crombie; à Londres . . . . — 16 déc. 1872.
Steenstrup, Jean-Japhet-S.; à Copenhague. . . . — 16 déc. 1872.
Huxley, Thomas-Henri; à Londres . . . . — 15 déc. 1874.
Pringsheim, Nathaniel; à Berlin . . . . — 15 déc. 1874.
Gosselet, Jules-Aug^{te}-Alex., ✠; à Lille . . . . . . — 15 déc. 1876.
Daubrée, Gabriel-Auguste; à Paris . . . . — 14 déc. 1877.
Kölliker, Rodolphe-Albert; à Wurzbourg. . . . . — 14 déc. 1877.
de Saporta, le marquis Gaston; à Aix (France) . . . — 14 déc. 1877
Gegenbaur, Charles; à Heidelberg . . . . — 15 déc. 1882.
Kowalewsky, Alex.; à Odessa . . . . — 15 déc. 1882.
Stur, Dionys-Rud.-J.; à Vienne . . . . 14 déc. 1883.
Nordenskjöld, le b^{on} Nils-Adolph.-Eric; à Stockholm . . — 15 déc. 1884.
Virchow, Rud.; à Berlin . . . . 15 déc. 1884.
Leuckart, Charles-G.-F.-Rudolphe; à Leipzig . . . — 15 déc. 1885.
de la Vallée Poussin, Charles-L.-J.-X., ✠; à Louvain . — 15 déc. 1885.
Hall, James; à Albany (É.-U d'Am.) . . . . — 15 déc. 1886.
Prestwich, Joseph; à Darent-Hulme Shoreham (Sevenoaks), Londres . . . . — 14 déc. 1888.
du Bois-Reymond, Émile; à Berlin . . . . — 16 déc. 1889.
Gaudry, Jean-Albert; à Paris . . . . — 16 déc. 1889.
de Lacaze-Duthiers, F.-J.-H.; à Paris . . . . . . 15 déc. 1892.
N . . . .
N . . . .
N . . . .

Digitized by Google

CLASSE DES LETTRES.

P. Henrard directeur pour 1893.
Marchal, le chev. Edm., secrétaire perpétuel.

30 MEMBRES.

Section des lettres et Section des sciences morales et politiques réunies.

Wauters, Alphonse, ✠ *O.*; à Bruxelles	Élu le	11	mai	1868.
Le Roy, Alphonse, ✠ *C.*; à Liége.	—	12	mai	1873.
de Borchgrave, Émile-J.-Y.-M., ✠ *C.*; à Vienne. .	—	12	mai	1873.
Wagener, Auguste, ✠ *C.*; à Gand	—	10	mai	1875.
Willems, Pierre-G.-H., ✠ *O.*; à Louvain	—	14	mai	1877.
Rolin-Jaequemyns, Gust., ✠; à Bruxelles	—	6	mai	1878.
Bormans, Stanislas, ✠ *O.*; à Liége	—	5	mai	1879.
Piot, Charles-G.-J., ✠ *O.*; à Saint-Gilles (Brux.) .	—	5	mai	1879.
Potvin, Charles, ✠; à Ixelles	—	9	mai	1881.
Stecher, Jean-Auguste, ✠ *O.*; à Liége	—	9	mai	1881.
Lamy, Thomas-Joseph, ✠ *O.*; à Louvain	—	8	mai	1882.
Henrard, Paul, ✠ *C.*; à Bruxelles	—	5	mai	1884.
Loomans, Charles-W.-H., ✠ *C.*; à Liége	—	10	mai	1886.
Tiberghien, Guill., ✠ *C.*; à Saint-Josse-ten-Noode.	—	9	mai	1887.
de Harlez, le chev. Charles-Joseph, ✠; à Louvain.	—	7	mai	1888.
Vanderkindere, Léon, ✠ *O.*; à Uccle.	—	7	mai	1888.
Henne, Alexandre, ✠ *O.*; à Bruxelles	—	6	mai	1889.
Frédérix, Gustave-A.-H., ✠; à Bruxelles	—	6	mai	1889.
Goblet d'Alviella, le comte Eugène, ✠; à Saint-Gilles (Bruxelles)	—	5	mai	1890.
Frère-Orban, H.-J.-W., ✠ *G. C.*; à Bruxelles. . .	—	4	mai	1891.
Vander Haeghen, Ferdinand, ✠ *O.*; à Gand . . .	—	4	mai	1891.
Prins, Adolphe, ✠ *O.*; à Ixelles	—	4	mai	1891.
Marchal, le chevalier Edmond-L.-J.-G., ✠; à Saint-Josse-ten-Noode	—	5	mai	1891.

Digitized by Google

Vuylsteke, Jules; à Gand	Élu le	9	mai	1892.
Banning, Émile, ✠ C.; à Ixelles	—	9	mai	1892.
de Monge, Léon, ✠; à Louvain	—	9	mai	1892.
Giron, Alfred, ✠ O.; à Ixelles	—	9	mai	1892.
de Chestret de Haneffe, le baron J.; à Liége . . .	—	8	mai	1893.
N				
N				

CORRESPONDANTS (10 au plus).

Loise, Ferdinand, ✠ O.; à Louvain	Élu le	12	mai	1873.
Fredericq, Paul, à Gand	—	4	mai	1891.
Kurth, Godefroid, ✠; à Liége	—	4	mai	1891.
Mesdach de ter Kiele, Ch., ✠ G. O.; à Bruxelles .	—	9	mai	1892
Denis, Hector; à Ixelles	—	9	mai	1892.
Descamps, le chevalier Ed.; à Louvain	—	8	mai	1893.
Monchamp, Georges; à Saint-Trond	—	8	mai	1893.
Sleeckx, Dominique, ✠; à Arlon	—	8	mai	1893.
Thomas, Paul, ✠; à Gand	—	8	mai	1893.
N				

50 ASSOCIÉS.

Leemans, Conrad, ✠ O.; à Leyde	Élu le	11	janvier	1847.
de Rossi, le chevalier J.-B.; à Rome	—	7	mai	1855.
Minervini, Jules; à Naples	—	4	mai	1859.
Cantù, César; à Milan	—	13	mai	1861.
von Löher, François, ✠ C.; à Munich	—	13	mai	1862.
von Arneth, le chevalier Alfr., ✠ C.; à Vienne . .	—	9	mai	1864.
Mommsen, Théodore; à Berlin	—	5	mai	1866.
von Sybel, Henri-Ch.-L., ✠ C.; à Berlin	—	10	mai	1869.
Brunn, Henri, ✠; à Munich	—	8	mai	1871.
d'Antas, le chevalier M., ✠ G. C.; à Londres . .	—	6	mai	1872.
Curtius, Ernest; à Berlin	—	6	mai	1872.
Rivier, Alph., ✠ O.; à Saint-Gilles (Bruxelles) . .	—	12	mai	1873.
Desmaze, Charles; à Paris	—	4	mai	1874.
Oppert, Jules; à Paris	—	4	mai	1874.
Delisle, Léopold-Victor; à Paris	—	10	mai	1875.
di Giovanni, Vincenzo; à Palerme	—	6	mai	1878.

Digitized by Google

Colmeiro, Manuel; à Madrid . . . . Élu le 10 mai 1880.
d'Olivecrona, Samuel-Rodolphe-Detler-Canut; à Stockholm . . . . — 10 mai 1880.
Bohl, Joan, ✠; à Amsterdam . . . . — 9 mai 1881.
Canovas del Castillo, Antoine, ✠ *G. C.*; à Madrid . . — 9 mai 1881.
Gladstone, William-Ewart; à Londres. . . . . . — 8 mai 1882.
Dareste, Rodolphe, ✠ *C.*; à Paris . . . . — 5 mai 1884.
Bréal, Michel-Jules-Alfred; à Paris. . . . . — 5 mai 1884.
Beets, Nicolas; à Utrecht . . . . — 4 mai 1885.
von Hoefler, le chevalier Const.; à Prague . . . . — 4 mai 1885.
Sully Prudhomme, René-François-Armand; à Paris. . — 4 mai 1885.
Perrot, Georges; à Paris . . . . — 10 mai 1886.
Philippson, Martin; à Berlin . . . . — 10 mai 1886.
Snieders, Auguste; à Anvers . . . . — 10 mai 1886.
Le Roy-Beaulieu, Paul; à Paris . . . . — 9 mai 1887.
Aumale, Henri-E.-Ph.-L. d'Orléans (duc d'), ✠ *G. C.*; à Chantilly. . . . . — 9 mai 1887.
Canonico, Tancrède; à Rome . . . . — 7 mai 1888.
Sohm, Rudolphe; à Leipzig . . . . — 7 mai 1888.
Nadaillac, J.-F.-A. du Pouget (m^is de); à Paris . . . — 7 mai 1888.
Lallemand, Léon; à Paris . . . . — 7 mai 1888.
Lucchini, Luigi; à Bologne . . . . — 7 mai 1888.
Hirschfeld, Otto; à Berlin . . . . — 6 mai 1889.
Worms, Émile; à Rennes . . . . — 6 mai 1889.
Te Winkel, Jean; à Groningue . . . . — 5 mai 1890.
de Franqueville, le c^te Amable-Charles-Franquet, ✠; à Paris. . . . . — 5 mai 1890
Baumgarten, Herman; à Strasbourg . . . . — 5 mai 1890
Hübner, Émile; à Berlin. . . . . — 4 mai 1891.
Dehaisnes, Chrétien; à Lille . . . . — 4 mai 1891.
Budinger, Max.; à Vienne . . . . — 9 mai 1892.
Lefèvre-Pontalis, Antonin-Germain; à Paris. . . . — 9 mai 1892.
Brunner, Heinrich; à Berlin . . . . — 8 mai 1893.
de Martens, Frédéric; à Saint-Pétersbourg . . . . — 8 mai 1893.
Tylor, Edward Burnett; à Oxford . . . . — 8 mai 1893.
Lavisse, Ernest; à Paris. . . . . — 8 mai 1893.
N. . . . .

Digitized by Google

CLASSE DES BEAUX-ARTS.

Ad. Samuel, directeur pour 1893.
Marchal, le chev. Edm., secrétaire perpétuel.

30 MEMBRES.

Section de Peinture :

Portaels, Jean-Franç., ✠ *C.*; à St-Josse-ten-Noode.	Élu le	4 janvier	1855.
Slingeneyer, Ernest, ✠ *G. O.*; à Bruxelles . . .	—	7 avril	1870.
Guffens, Godefr.-E., ✠ *C.*; à Schaerbeek	—	6 janvier	1876.
Wauters, Ch.-Émile-M., ✠ *C.*; à Ixelles	—	5 janvier	1882.
Clays, Paul-Jean, ✠ *C.*; à Schaerbeek	—	1er mars	1883.
Stallaert, Joseph-J.-F., ✠ *O.*; à Ixelles.	—	5 janvier	1888.
Markelbach, Alexandre-P.-J., ✠ *O.*; à Schaerbeek .	—	10 janvier	1889.
Robie, Jean, ✠ *C.*; à Bruxelles.	—	8 janvier	1891.
Hennebicq, A., ✠; à Saint-Gilles (Bruxelles) . .	—	7 janvier	1892.

Section de Sculpture :

Fraikin, Charles-Auguste, ✠ *C.*; à Schaerbeek . .	Élu le	8 janvier	1847.
Jaquet, Jean-Joseph, ✠ *O.*; à Schaerbeek . . .	—	11 janvier	1883.
De Groot, Guillaume, ✠ *O.*; à Bruxelles . . .	—	10 janvier	1884.
Vinçotte, Thomas, ✠ *O.*; à Schaerbeek	—	12 mai	1886.

Section de Gravure :

Demannez, Joseph, ✠ *O.*; à St-Josse-ten-Noode . .	Élu le	11 janvier	1883.
Biot, Gustave, ✠ *O.*; à Anvers	—	10 janvier	1884.

Section d'Architecture :

Balat, Alphonse-F.-H., ✠ *G. O.*; à Ixelles . . .	Élu le	9 janvier	1862.

Digitized by Google

PAULI, Adolphe-Ed.-Th. ✠ *C.*; à Gand. . . . . Élu le 7 janvier 1875.
SCHADDE, Joseph, ✠ *O.*; à Anvers . . . . — 10 janvier 1878.
BEYAERT, Henri, ✠ *C.*; à Bruxelles . . . . — 5 janvier 1888.

Section de Musique :

GEVAERT, Franç.-Auguste. ✠ *G. O.*; à Bruxelles . . Élu le 4 janvier 1872.
SAMUEL, Adolphe. ✠ *C.*; à Gand , ... — 8 janvier 1874.
RADOUX, Jean-Théodore. ✠ *O.*; à Liége . . . . . — 3 avril 1879.
BENOIT, Pierre-Léonard-Léop., ✠ *C.*; à Anvers . . — 5 janvier 1882.
HUBERTI, Gustave, ✠; à Bruxelles . . . . — 2 avril 1891.

Section des Sciences et des Lettres dans leurs rapports avec les Beaux-Arts :

FÉTIS, Édouard, ✠ *C.*; à Bruxelles . . . . Élu le 8 janvier 1847.
HYMANS, Henri, ✠; à Ixelles . . . . — 8 janvier 1885.
MARCHAL, le chevalier Edmond-L.-J.-G., ✠; à Saint-Josse-ten-Noode . . . . — 7 janvier 1886.
ROOSES, Maximilien, ✠; à Anvers . . . . — 10 janvier 1889.
VAN EVEN, Édouard. ✠; à Louvain . . . . — 7 janvier 1892.
Tardieu, Charles; à Boitsfort . . . . — 5 janvier 1893.

CORRESPONDANTS (10 au plus).

Peinture :

DE LALAING, le comte Jacques, ✠; à Bruxelles . . Élu le 10 janvier 1889.
CLUYSENAAR, Alfred, ✠ *O.*; à Bruxelles . . . . — 5 janvier 1893.
DE VRIENDT, Albert, ✠ *O.*; à Anvers. . . . . — 5 janvier 1893.

Sculpture :

DE VIGNE, Paul, ✠ *O.*; à Schaerbeek. . . . . . Élu le 7 janvier 1892.

Gravure :

MEUNIER, Jean-Baptiste, ✠ *O.*; à Ixelles . . . . Élu le 10 janvier 1884.

Architecture :

LAUREYS, Félix, ✠; à Bruxelles . . . . Élu le 10 janvier 1889.

Digitized by Google

Musique :

BUSSCHOP, Jules, ✠ O.; à Bruges. . . . . . Élu le 11 janvier 1883.
VAN DEN EEDEN, Jean-Baptiste; à Mons. . . . . — 2 avril 1891.

Sciences et Lettres dans leurs rapports avec les Beaux-Arts :

GÉNARD, J., ✠; à Anvers . . . . Élu le 5 janvier 1893.
N . . . .

50 ASSOCIÉS.

Peinture :

GÉROME, Jean-Léon, ✠; à Paris. . . . . Élu le 12 janvier 1865.
DE MADRAZO, Frédéric; à Madrid . . . . — 12 janvier 1865.
HÉBERT, Aug.-Ant.-Ernest, ✠ O.; à Paris . . . — 12 janvier 1871.
BECKER, Charles, ✠ O.; à Berlin . . . . — 8 janvier 1874.
FRITH, William-Powell, ✠; à Londres . . . . — 8 janvier 1874.
WILLEMS, Florent, ✠ C.; à Paris . . . . . — 7 décem. 1882.
LEIGHTON, Frederic; à Londres . . . . . . — 7 janvier 1886.
MENZEL, Adolphe; à Berlin . . . . — 6 janvier 1887.
BOUGUEREAU, William-Adolphe, ✠; à Paris . . . — 9 janvier 1890.
ALMA TADEMA, Laurent, ✠; à Londres. . . . . . — 8 janvier 1891.
LEFEBVRE, Jules; à Paris . . . . — 8 janvier 1891.
BRETON, Jules-Adolphe, ✠ O.; à Courrières. .
(Pas-le-Calais) . . . . — 7 janvier 1892.

Sculpture :

CAVELIER, Pierre-Jules; à Paris. . . . . . . Élu le 7 janvier 1864.
MONTEVERDE, Jules; à Rome . . . . — 8 janvier 1874.
GUILLAUME, Claude-J.-B.-Eugène; à Paris . . . — 6 janvier 1876.
THOMAS, Gabriel-Jules; à Paris. . . . . — 11 janvier 1883.
KUNDMANN, Charles; à Vienne . . . . — 11 janvier 1883.
BEGAS, Ch.-Th.-A.-Reinhold, ✠ O.; à Berlin . . — 8 janvier 1885.
DUBOIS, Paul; à Paris . . . . — 5 janvier 1893
MERCIÉ, Antonin; à Paris. . . . . — 5 janvier 1893

Gravure :

STANG, Rudolphe; à Amsterdam . . . . Élu le 8 janvier 1874.

Digitized by Google

Chaplain, Jules-Clément; à Paris	Élu le	5 janvier	1888.
Raab, J.-L.; à Munich	—	10 janvier	1889.
Unger, William-Georg.-Bodo; à Vienne	—	5 janvier	1893.

Architecture :

de Leins, Chrétien-Frédéric, ✠; à Stuttgart . . .	Élu le	7 janvier	1864.
Daly, César; à Paris	—	12 janvier	1865.
Vespignani, le comte Virginio; à Rome	—	12 janvier	1871.
Contreras, Raphaël; à Grenade	—	8 janvier	1880.
Raschdorff, Jules-Charles; à Berlin.	—	5 janvier	1882.
Waterhouse, Alfred; à Londres	—	7 janvier	1886.
Revoil, Henri-A., ✠; à Nîmes.	—	10 janvier	1889.
Vaudremer, Joseph-Auguste-Émile; à Paris . . .	—	3 mars	1892.

Musique :

Thomas, Ch.-L.-Ambroise, ✠ *O.*; à Paris	Élu le	8 janvier	1863.
Verdi, Joseph; à Busseto (Italie).	—	12 janvier	1865.
Gounod, Charles-François , ✠ *O.*; à Paris. . . .	—	4 janvier	1872.
Saint-Saens, Camille-Ch., ✠; à Paris	—	8 janvier	1885.
Brahms, Jean; à Vienne.	—	7 janvier	1886.
Rubinstein, Antoine-Grégoire; à St-Pétersbourg	—	6 janvier	1887.
Bourgault-Ducoudray, Louis-Albert; à Paris . .		6 janvier	1887.
Wüllner, François; à Cologne	—	8 janvier	1891.
Massenet, Jules; à Paris.	—	5 janvier	1893.

Sciences et Lettres dans leurs rapports avec les Beaux-Arts :

Ravaisson-Mollien, J.-G.-Félix-Lacher; à Paris . .	Élu le	10 janvier	1856.
Gailhabaud, Jules; à Paris.	—	9 janvier	1868.
Lübke, Guillaume; à Stuttgart.	—	9 janvier	1873.
Delaborde, le comte Henri; à Paris.	—	8 janvier	1874.
Sourindro Mohun Tagore, le radja, ✠ *C.*; à Calcutta.	—	4 janvier	1877.
Milanesi, Gaetan; à Florence	—	8 janvier	1885.
Bertolotti, Antoine; à Mantoue	—	5 janvier	1888.
Bode, Guillaume; à Berlin.	—	10 janvier	1889.
Ruskin, John; à Brantwood	—	7 janvier	1892.

Digitized by Google

NÉCROLOGIE.

CLASSE DES SCIENCES.

Hofmann (Aug. Wilh.), associé, décédé à Berlin, le 5 mai 1892.
Owen (Richard Sir), associé, décédé à Londres, en décembre 1892.
de Candolle (Alp.-L.-P.-Pyrame), associé, décédé à Genève, le 5 avril 1893.
Moleschoot (Jacques), associé, décédé à Rome, en mai 1893.

CLASSE DES LETTRES.

Gantrelle (Joseph), membre, décédé à Gand, le 24 février 1893.
Faider (Charles), membre, décédé à Bruxelles, le 6 avril 1893.
Nève (Félix), membre, décédé, à Louvain, le 23 mai 1893.
Castan (Auguste), associé, décédé à Besançon, le 28 juin 1892.
de Vries (Matthias), associé, décédé à Leiden, le 9 août 1892.
Tennyson (A.), associé, décédé à Harlemère, (Ile de Wight), le 6 octobre 1892.
Lorimer (Jacques), associé, décédé à Édimbourg.
Franck (Adolphe), associé, décédé à Paris, le 11 avril 1893.

CLASSE DES BEAUX-ARTS.

Canneel (Th.), correspondant, décédé à Gand, le 16 mai 1892.
Bonnassieux (Jean), associé, décédé à Paris, le 3 juin 1892.
Limnander de Nieuwenhove (Le baron Armand), associé, décédé au château de Moignanville (Seine-et-Oise), le 14 août 1892.

Digitized by Google

TABLE

DES

MÉMOIRES CONTENUS DANS LE TOME XLIX

CLASSE DES SCIENCES.

1. — Sur quelques formules d'analyse; par Eug. Catalan.
2. — De la nature de la lumière solaire; par J.-S. Stas.
3. — Sur l'ellipse de Brocard; par Eug. Catalan.
4. — Sur les polynômes de Legendre, d'Hermite et de Polignac; par Eug. Catalan.
5. — Sur le développement de certaines fonctions algébriques; par Jacques Deruyts.
6. — Intégrales eulériennes ou elliptiques; par Eug. Catalan.
7. — De l'argent (*OEuvre posthume*); par J.-S. Stas.
8. — Recherches chimiques et études spectroscopiquess ur différents corps simples. — Nouvelle détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure de potassium (*OEuvre posthume*); par le même.

CLASSE DES LETTRES.

9. — L'École philosophique moderne de la Chine ou système de la nature (*Sing-li*); par Ch. de Harlez

Digitized by Google

Digitized by Google

SUR

QUELQUES FORMULES D'ANALYSE;

PAR

E. CATALAN,

ASSOCIÉ DE L'ACADÉMIE.

(Présenté à la Classe des sciences, dans la séance du 5 avril 1890.)

Digitized by Google

Digitized by Google

SUR

QUELQUES FORMULES D'ANALYSE.

I.

Une formule de Gauss.

1. Lemme I. x *étant compris entre* 0 *et* 1 (exclusivement), *la série*

$$1 + X_1 + X_2 + \cdots + X_n + \cdots$$

est convergente (*).

2. Corollaire. x *étant compris entre* 0 *et* 1 (exclusivement), *la fonction*

$$X_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (x - \sqrt{x^2 - 1}\cos\omega)^n d\omega \text{ (**)} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

tend vers zéro, quand n *croît indéfiniment.*

En effet, *dans toute série convergente, le terme général a pour limite zéro.*

(*) *Recherches sur les fonctions* X_n, premier Mémoire, p. 60.

(**) *Formule de Jacobi.* Après l'avoir citée, dans son *Traité de calcul intégral* (p. 502), M. Joseph Bertrand ajoute : « ... On peut en conclure aisément que, pour chaque valeur » de x moindre que l'unité en valeur absolue, X_n tend vers zéro, lorsque n augmente indé- » finiment. Si, en effet, dans l'intégrale (1), on remplace chaque élément par son module, » le module de la somme, comme on sait, sera augmenté; on a par conséquent

$$X_n < \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} [x^2 + (1 - x^2)\omega'\omega]^{\frac{n}{2}} d\omega,$$

» et tous les éléments de l'intégrale tendent vers zéro lorsque n croît indéfiniment. »

Ou nous ne comprenons pas les paroles du savant Géomètre, ou, nous semble-t il, elles expriment cette proposition fausse : *Le nombre des parties d'une somme croissant indéfiniment, la somme tend vers zéro, si chacune de ces parties tend vers zéro.*

Digitized by Google

3. **Lemme II.** x^2 *étant compris entre* 0 *et* 1 (exclusivement), *on a*

$$1 = \sum_1^\infty (X_{n-1}^2 - X_n^2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

La somme des n premiers binômes égale $1 - X_n^2$; donc la limite de la somme de la série est 1.

4. **Théorème I.** x^2 *étant compris entre* 0 *et* 1 (exclusivement) :

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{1+x}{1-x} = \sum_1^\infty \frac{X_{n-1}X_n}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (A)$$

D'après les formules

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX_{n-1}}{dx} &= \frac{n}{1-x^2}(xX_{n-1} - X_n), \\ \frac{dX_n}{dx} &= \frac{n}{1-x^2}(X_{n-1} - xX_n); \end{aligned}\right\} (*) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$X_n\frac{dX_{n-1}}{dx} + X_{n-1}\frac{dX_n}{dx} = \frac{n}{1-x^2}(X_{n-1}^2 - X_n^2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

L'égalité (2) peut donc être écrite ainsi :

$$\frac{1}{1-x^2} = \sum_1^\infty \frac{1}{n}(X_nX_{n-1})' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Multipliant par dx, et intégrant, on a la formule (A) (**).

5. **Théorème II.** x *surpassant l'unité, on a, en série convergente,*

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = \sum_1^\infty \frac{1}{nX_{n-1}X_n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

Il est visible que

$$1 = \sum_1^\infty \left(\frac{1}{X_{n-1}^2} - \frac{1}{X_n^2}\right) \ (***).$$

(*) *Premier Mémoire*, p. 4.
(**) *Loc. cit.*, p. 62.
(***) Lemme II.

Digitized by Google

Le binôme équivaut à

$$\frac{X_n^2 - X_{n-1}^2}{(X_{n-1}X_n)^2};$$

ou, d'après l'égalité (4), à

$$\frac{x^2-1}{n}\,\frac{(X_nX_{n-1})'}{(X_nX_{n-1})^2}.$$

Ainsi

$$\frac{1}{x^2-1} = \sum_1^\infty \frac{(X_nX_{n-1})'}{n(X_{n-1}X_n)^2},$$

ou

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = \sum_1^\infty \frac{nX_{n-1}X_n}{1};\ (^*) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(B)}$$

formule attribuée à Gauss (**).

6. *Comparaison des deux théorèmes.* On lit, dans le *premier Mémoire* (p. 62) :

« Pour passer de la première (***) à la seconde (IV), il suffit de changer x
» en $\frac{1}{x}$, et X_n en $\frac{1}{X_n}$.

» Mais ce rapprochement n'était que *typographique*, pour ainsi dire. On
» peut faire mieux. En effet, soit, pour plus de clarté, $X_n = f_n(x)$. Dans la formule de Gauss, changeons x en $\frac{1}{z}$; nous aurons

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{1+z}{1-z} = \sum_1^\infty \frac{1}{nf_{n-1}\left(\frac{1}{z}\right)f_n\left(\frac{1}{z}\right)};\quad (z<1)$$

» donc, par *ma formule* (?) :

$$\sum_1^\infty \frac{1}{n} f_{n-1}(z) f_n(z) = \sum_1^\infty \frac{1}{nf_{n-1}\left(\frac{1}{z}\right)f_n\left(\frac{1}{z}\right)};\quad (z<1)$$

(*) A cause de

$$\frac{1}{x^2-1} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x-1} - \frac{1}{x+1}\right).$$

(**) Où l'a-t-il publiée? Pour obtenir une réponse à cette question, nous nous sommes adressé, en vain, à plusieurs Géomètres.

(***) Formule (A).

(IV) Formule (B).

Digitized by Google

» ou, ce qui est équivalent,

$$\sum_1^\infty \frac{1}{n} X_{n-1} X_n = \sum_1^\infty \frac{1}{n f_{n-1}\left(\frac{1}{x}\right) f_n\left(\frac{1}{x}\right)} \text{ » (*)} \quad (x < 1) \ldots\ldots \quad \text{(C)}$$

7. *Remarques.* — I. L'égalité (C), que nous croyons nouvelle, est remarquable (**).

II. Substituant à X_1, X_2, X_3, ... leurs valeurs connues, on trouve, comme développement du premier membre,

$$x + \frac{2}{2}\frac{x^3}{3-x^2} + \frac{4}{3}\frac{x^5}{(3-x^2)(5-3x^2)} + \frac{16}{4}\frac{x^7}{(5-3x^2)(35-30x^2+3x^4)} + \cdots \quad (6)$$

et, comme développement du second :

$$x + \frac{1}{4}x(3x^2-1) + \frac{1}{12}(3x^2-1)(5x^3-3x) + \frac{1}{64}(5x^3-3x)(35x^4-30x^2+3) + \cdots \quad (7)$$

Ainsi, *les séries* (6), (7), *convergentes si la variable* x *est comprise entre* 0 *et* 1 (exclusivement), *ont même somme. Cette limite commune est* $\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{1+x}{1-x}$.

III. Si, dans la série (6), on développe chaque terme suivant les puissances croissantes de x, et que l'on identifie ce nouveau développement avec la série (7), on obtient une *infinité de sommes de séries.*

IV. On sait que

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{1+x}{1-x} = \frac{3}{1.2}X_1 + \frac{7}{3.4}X_3 + \frac{11}{5.6}X_5 + \cdots \text{(***)} \ldots\ldots \quad (8)$$

Conséquemment, *les séries* (6), (7), (8), *de formes très différentes, ont même limite.*

(*) La seconde phrase entre guillemets est tirée d'une lettre à M. Hermite, en date du 8 novembre 1889.

(**) Pourrait-on y remplacer $f_n(z)$ par une fonction autre que X_n ?

(***) *Premier Mémoire*, p. 61.

Digitized by Google

II.

Développements en fractions continues.

8. *Une formule de Gauss.* Le célèbre Mémoire sur la série

$$1+\frac{\alpha\beta}{1.\gamma}x+\frac{\alpha(\alpha+1)\beta(\beta+1)}{1.2.\gamma(\gamma+1)}x^2+\cdots\ (^*)$$

contient la formule

$$\mathcal{L}\frac{1+t}{1-t}=\cfrac{2t}{1-\cfrac{\frac{1}{3}t^2}{1-\cfrac{\frac{2.2}{3.5}t^2}{1-\cfrac{\frac{3.3}{5.7}t^2}{1-\cfrac{\frac{4.4}{7.9}}{1-\cdots}}}}}\qquad (t<1)$$

Si l'on y change t en $\frac{1}{x}$, elle devient

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}=\cfrac{1}{x-\cfrac{\frac{1}{3}}{x-\cfrac{\frac{2.2}{3.5}}{x-\cfrac{\frac{3.3}{5.7}}{x-\cfrac{\frac{4.4}{7.9}}{x-\cdots}}}}}\quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

(*) *Mémoires de Göttingen,* t. II, p. 16 (1812).

Digitized by Google

D'après divers auteurs, les dénominateurs des réduites de cette fraction continue sont les fonctions X_0, X_1, X_2, ... (*).

A cause des divergences citées en note, il n'est peut-être pas inutile de former, directement, les réduites dont il s'agit.

9. (*Suite.*) A cet effet, rappelons les principes suivants :

Si

$$y = a + \cfrac{1}{b + \cfrac{1}{c + \cfrac{1}{d + \cdots}}},$$

et que les réduites soient

$$\frac{A}{A'}, \quad \frac{B}{B'}, \quad \frac{C}{C'}, \quad \frac{D}{D'}, \quad \ldots;$$

(*) Cependant, ils ne s'accordent pas tout à fait entre eux :

1° Dans le *Cours de M. Hermite, professé à la Sorbonne* (1882), on lit (p. 146) : « nous » allons démontrer que la fonction X_n est précisément le dénominateur d'ordre n de » $\log\frac{x+1}{x-1}$ » ;

2° De son côté, M. Camille Jordan s'exprime ainsi : « les polynômes X_n sont, à des » facteurs constants près, les dénominateurs des réduites de $\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$ » (*Cours d'Analyse*, t. II, p. 251) ;

3° Dans les *Mélanges de Saint-Pétersbourg* (1860, p. 184), M. Tchébychef écrit, à propos de la quantité $\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$: « et comme les réduites de cette expression ont pour dénomi- » nateurs les fonctions désignées par $X^{(n)}$, il en résulte la série connue » ;

4° Enfin M. Rouché, après avoir supposé

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = \cfrac{1}{Q_1 - \cfrac{1}{Q_2 - \cfrac{1}{Q_3 - \cdots}}},$$

trouve que les dénominateurs des réduites ont les valeurs suivantes :

$$D_1 = X_1, \quad D_2 = \frac{1}{2}X_2, \quad D_3 = \frac{1.3}{2}X_3, \quad D_4 = \frac{2.4}{1.3}X_4, \cdots$$

(*Journal de l'École polytechnique*, 36e Cahier.)

Digitized by Google

on a :

1°
$$y = a + \frac{1}{A'B'} - \frac{1}{B'C'} + \frac{1}{C'D'} - \frac{1}{D'E'} + \cdots; \quad \ldots \ldots \quad (10)$$

2°
$$b = B', \quad c = \frac{C' - A'}{B'}, \quad d = \frac{D' - B'}{C'}, \quad e = \frac{E' - C'}{D'}, \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

En outre, si l'on prend A = 0, B = 1, *les autres numérateurs sont donnés par les formules :*

$$C = c, \quad D = 1 + Cd, \quad E = C + De, \quad F = D + Ef, \ldots (*) \quad \ldots \quad (12)$$

Dans le cas actuel,

$$A'B' = X_0X_1, \quad B'C' = -2X_1X_2, \quad C'D' = 3X_2X_3, \quad D'E' = -4X_3X_4, \quad E'F' = 5X_4X_5,$$
$$F'G' = -6X_5X_6, \ldots$$

Donc, si l'on fait A' = 1, on aura :

$$\left.\begin{array}{l} B' = X_1, \quad C' = -2X_2, \quad D' = -\frac{3}{2}X_3, \quad E' = \frac{2 \cdot 4}{1 \cdot 3}X_4, \quad F' = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4}X_5, \\ G' = -\frac{2 \cdot 4 \cdot 6}{1 \cdot 3 \cdot 5}X_6, \ldots; \end{array}\right\} \quad (13)$$

puis

$$b = X_1, \quad c = -\frac{2X_2 + 1}{X_1}, \quad d = \frac{3X_3 + 2X_1}{2^2X_2}, \quad e = -\frac{4X_4 + 3X_2}{\left(\frac{3}{2}\right)^2 X_3}, \quad f = \frac{5X_5 + 4X_3}{\left(\frac{2 \cdot 4}{1 \cdot 3}\right)^2 X_4},$$
$$g = -\frac{6X_6 + 5X_4}{\left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4}\right)^2 X_5}, \ldots$$

Pour simplifier ces expressions, il suffit de se rappeler que, généralement,

$$(n + 1)X_{n+1} + nX_n = (2n + 1)xX_n \,(**) \quad \ldots \ldots \quad (14)$$

(*) *Théorie des fractions continues* (Nouvelles annales, 1869, pp. 155 et 172).
(**) *Premier Mémoire*, p. 4.

En effet, les numérateurs

$$2X_2 + 1, \quad 3X_3 + 2X_2, \quad 4X_4 + 3X_3, \quad 5X_5 + 4X_4, \quad 6X_6 + 5X_5, \quad \ldots$$

deviennent

$$3xX_1, \quad 5xX_2, \quad 7xX_3, \quad 9xX_4, \quad 11xX_5, \quad \ldots:$$

et l'on a :

$$\left.\begin{array}{l} b = x, \quad c = -3x, \quad d = \dfrac{5}{2^2}x, \quad e = -\dfrac{7}{\left(\dfrac{3}{2}\right)^2}x, \quad f = \dfrac{9}{\left(\dfrac{2.4}{1.3}\right)^2}x, \\ g = -\dfrac{11}{\left(\dfrac{1.3.5}{2.4}\right)^2}x, \quad \ldots; \end{array}\right\} \quad . \; . \; (15)$$

puis

$$\left.\frac{1}{2}l\frac{x+1}{x-1} = \cfrac{1}{x + \cfrac{1}{-3x + \cfrac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 5x + \cfrac{1}{-\left(\frac{2}{3}\right)^2 7x + \cfrac{1}{\left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 9x + \cdots}}}}}\right\} \quad . \; . \; (16)$$

10. *Remarque.* Ce développement ne diffère qu'en apparence de celui qui précède. En effet, dans le second membre de la formule (9),

$$x - \cfrac{\frac{1}{3}}{x - \cfrac{\frac{2.2}{3.5}}{x - \cfrac{\frac{3.3}{5.7}}{x - \cfrac{\frac{4.4}{7.9}}{x - \cdots}}}} = x - \cfrac{1}{3x - \cfrac{\frac{2.2}{5}}{x - \cfrac{\frac{3.3}{5.7}}{x - \cfrac{\frac{4.4}{7.9}}{x - \cdots}}}}$$

De même,

$$3x - \cfrac{\frac{2.2}{5}}{x - \cfrac{\frac{3.3}{5.7}}{x - \cfrac{\frac{4.4}{7.9}}{x - \cdots}}} = 3x - \cfrac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 5x - \cfrac{\frac{3.3}{2.2.7}}{x - \cfrac{\frac{4.4}{7.9}}{x - \cdots}}}$$

Digitized by Google

De même encore,

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 5x - \cfrac{\frac{3.3}{2.2.7}}{4.4}{x - \cfrac{\frac{7.9}{}}{x - \cdots}} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 5x - \cfrac{1}{\left(\frac{2}{3}\right)^2 7x - \cfrac{\left(\frac{2.4}{3}\right)^2 \frac{1}{9}}{x - \cdots}},$$

etc.

11. *Vérification.* Des équations (10) et des valeurs (15), on déduit :

$$B' = x, \quad C' = 1 - 3x^2, \quad D' = x + (1 - 3x^2)\frac{5}{4}x = -\frac{1}{4}(5x^3 - 3x),$$

$$E' = 1 - 3x^2 + \frac{3}{4}(5x^3 - 3x)\frac{28}{9}x = \frac{1}{3}(35x^4 - 30x^2 + 3),$$

$$F' = -\frac{3}{4}(5x^3 - 3x) + \frac{1}{3}(35x^4 - 30x^2 + 3)\frac{81}{64}x = \frac{15}{64}(63x^5 - 70x^3 + 15x),$$

. . . . ;

ou

$$A' = X_0, \quad B' = X_1, \quad C' = -2X_2, \quad D' = -\frac{3}{2}X_3, \quad E' = \frac{8}{3}X_4, \quad F' = \frac{15}{8}X_5, \ldots; \quad (13)$$

comme précédemment.

12. *Recherche des numérateurs.* Par les formules (12) et (15) :

$$\left.\begin{aligned} &C = -3x, \quad D = 1 - 3x \cdot \frac{5}{4}x = -\frac{1}{4}(15x^2 - 4), \\ &E = -3x + \frac{1}{4}(15x^2 - 4)\frac{28}{9}x = \frac{5}{9}(21x^3 - 11x), \\ &F = -\frac{1}{4}(15x^2 - 4) + \frac{5}{9}(21x^3 - 11x)\frac{81}{64}x = \frac{1}{64}(945x^4 - 735x^2 + 64), \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

13. *Réduites.* Elles sont, en vertu des formules (13), (17) :

$$\frac{1}{X_1}, \quad \frac{3x}{2X_2}, \quad \frac{15x^2 - 4}{2.3X_3}, \quad \frac{5(21x^3 - 11x)}{2.3.4X_4}, \quad \frac{945x^4 - 735x^2 + 64}{2.3.4.5X_5}, \ldots \quad (18)$$

Digitized by Google

14. *Suite.* Changeons de notation, et représentons par

$$\frac{N_1}{X_1},\ \frac{N_2}{X_2};\ \frac{N_3}{X_3},\ldots\frac{N_n}{X_n},\ldots$$

les réduites de la *fonction* $\mathcal{L}\,\frac{x+1}{x-1}$, de manière que

$$\left.\begin{aligned}&N_1=2,\ N_2=3x,\ N_3=\frac{1}{3}(15x^2-4),\ N_4=\frac{1}{12}(105x^3-55x),\\&N_5=\frac{1}{60}(945x^4-735x^2+64),\cdots\end{aligned}\right\}(^*)\ .\ .\quad(19)$$

De ces valeurs résultent les égalités suivantes :

$$N_1X_2-N_2X_1=(3x^2-1)-3x^2=-1,$$

$$N_2X_3-N_3X_2=3x\,\frac{1}{2}(5x^3-3x)-\frac{1}{3}(15x^2-4)\frac{1}{2}(3x^2-1)=-\frac{2}{3},$$

$$\begin{aligned}N_3X_4-N_4X_3&=\frac{1}{3}(15x^2-4)\cdot\frac{1}{8}(35x^4-30x^2+3)-\frac{1}{12}(105x^3-55x)\frac{1}{2}(5x^3-3x)\\&=\frac{1}{24}\left[(15x^2-4)(35x^4-30x^2+3)-(105x^3-55x)(5x^3-3x)\right]\\&=\frac{1}{24}\left[525x^6-590x^4+165x^2-12-(525x^6-590x^4+165x^2)\right]=-\frac{1}{2};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_4X_5-N_5X_4&=\frac{5}{96}(21x^3-11x)(63x^5-70x^3+15x)\\&\quad-\frac{1}{480}(945x^4-735x^2+64)(35x^4-30x^2+3)\\&=\frac{5}{96}(1\,323x^8-2\,163x^6+1\,085x^4-165x^2)\\&\quad-\frac{1}{480}(33\,075x^8-54\,075x^6+27\,125x^4-4\,125x^2+192)\\&=\frac{1}{480}\big[33\,075x^8-54\,075x^6+27\,125x^4-4\,125x^2\\&\qquad-(33\,075x^8-54\,075x^6+27\,125x^4-4\,125x^2+192)\big],\end{aligned}$$

ou

$$N_4X_5-N_5X_4=-\frac{2}{5};$$

. . . .

(*) Comme on le verra plus loin, les numérateurs N_n, provenant de $\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$, ne diffèrent pas des polynômes P_n, considérés par M. Hermite.

Digitized by Google

15. *Généralisation.* Pour une valeur particulière attribuée à x, les réduites $\frac{N_1}{X_1}, \frac{N_2}{X_2}, \ldots \frac{N_n}{X_n}$ tendent, de plus en plus, vers $\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$. Ainsi, *pourvu que la série soit convergente* (*),

$$\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = \sum_1^\infty \left(\frac{N_n}{X_n} - \frac{N_{n-1}}{X_{n-1}}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (20)$$

Par la formule de Gauss :

$$\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = 2\sum_1^\infty \frac{1}{nX_{n-1}X_n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (B)$$

Les deux développements seront semblables si nous prenons

$$\frac{N_n}{X_n} - \frac{N_{n-1}}{X_{n-1}} = \frac{2}{nX_{n-1}X_n},$$

ou

$$N_nX_{n-1} - N_{n-1}X_n = \frac{2}{n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (D)$$

16. *Remarques.* I. Les premiers numérateurs satisfont à cette loi de récurrence (14); donc ils y satisfont tous.

II. La série (20) est convergente, car elle ne diffère pas de la série (B). Conséquemment

$$\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = \lim \frac{N_n}{X_n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (21)$$

III. Nous avons trouvé :

$$N_1 = 2, \quad N_2 = 3x, \quad N_3 = \frac{1}{3}(15x^2 - 4), \quad \ldots$$

De là résulte facilement, par la relation (D), que N_n *est un polynôme entier, du degré* n — 1.

(*) On va voir qu'elle l'est. Pour la symétrie, nous supposons $N_0 = 0$.

Digitized by Google

17. *Suite.* La formule (16) peut être écrite ainsi :

$$\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}=\cfrac{2}{x+\cfrac{1}{-3x+\cfrac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 5x+\cfrac{1}{-\left(\frac{2}{3}\right)^2 7x+\cdots}}}}$$

Soient alors $q_1, q_2, q_3, \ldots$ les *termes* de la fraction continue qui divise 2, savoir :

$$q_1=x,\quad q_2=-3x,\quad q_3=\left(\frac{1}{2}\right)^2 5x,\quad q_4=-\left(\frac{2}{3}\right)^2 7x,\quad \ldots$$

Généralement, si n est *impair*,

$$q_n=\left(\frac{1.3.5\ldots\overline{n-2}}{2.4.6\ldots\overline{n-1}}\right)^2(2n-1)x;\ \ldots\ldots\ldots \tag{22}$$

et, si n est *pair*,

$$q_n=-\left(\frac{2.4.6\ldots\overline{n-2}}{1.3.5\ldots\overline{n-1}}\right)^2(2n-1)x\ (^*)\ \ldots\ldots \tag{23}$$

Dans le premier cas,

$$q_n=\left(\frac{1.3.5\ldots\overline{n-2}}{2.4.6\ldots\overline{n-1}}\right)^2\frac{nX_n+\overline{n-1}X_{n-2}}{X_{n-1}};\ \ldots\ldots \tag{24}$$

et, dans le second,

$$q_n=-\left(\frac{2.4.6\ldots\overline{n-2}}{1.3.5\ldots\overline{n-1}}\right)^2\frac{nX_n+\overline{n-1}X_{n-2}}{X_{n-1}}\ \ldots\ldots \tag{25}$$

18. *Remarques.* I. Aux formules (24), (25), on peut substituer celles-ci :

$$q_n=\left(\frac{1.3.5\ldots\overline{n-2}}{2.4.6\ldots\overline{n-1}}\right)^2\frac{nN_n+\overline{n-1}N_{n-2}}{N_{n-1}},\quad (n\ \textit{impair}) \tag{26}$$

$$q_n=-\left(\frac{2.4.6\ldots\overline{n-2}}{1.3.5\ldots\overline{n-1}}\right)^2\frac{nN_n+\overline{n-1}N_{n-2}}{N_{n-1}}\quad (n\ \textit{pair}) \tag{27}$$

(*) Les formules (22), (23) reproduisent tous les termes de la fraction continue (16), *transformée* de la fraction continue (9). Gauss a donné la forme générale des coefficients de celle-ci ; donc les formules (22), (23) peuvent être regardées comme démontrées.

Digitized by Google

En effet, si l'on suppose

$$\frac{nX_n + \overline{n-1}X_{n-2}}{X_{n-1}} = \frac{nN_n + \overline{n-1}N_{n-2}}{N_{n-1}}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(E)}$$

on trouve

$$n(X_nN_{n-1} - X_{n-1}N_n) = \overline{n-1}(X_{n-1}N_{n-2} - X_{n-2}N_{n-1});$$

ce qui est identique, en vertu de la relation (D).

19. Théorème I. *Trois numérateurs consécutifs satisfont à la relation*

$$(n+1)N_{n+1} - (2n+1)xN_n + nN_{n-1} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(F)}$$

Si, dans (E), on change n en $n+1$, la valeur commune des deux membres est $(2n+1)x$ (14); donc, etc.

20. Théorème II. a *étant une quantité autre que* x :

$$\frac{(n+1)X_{n+1} - (2n+1)aX_n + nX_{n-1}}{x-a} = (2n+1)X_n. \quad \ldots\ldots \quad \text{(G)}$$

En effet, d'après l'égalité (14), le numérateur se réduit à $(2n+1)(x-a)X_n$ (*).

21. Théorème III. a *étant une quantité autre que* x :

$$\frac{(n+1)N_{n+1} - (2n+1)aN_n + nN_{n-1}}{x-a} = (2n+1)N_n. \quad \ldots\ldots \quad \text{(H)}$$

Même démonstration.

22. *Fractions inverses.* Considérons les fractions continues successives :

$$q_1 + \frac{1}{q_2} = \frac{N_2}{X_2}, \qquad q_1 + \cfrac{1}{q_2 + \cfrac{1}{q_3}} = \frac{N_3}{X_3}, \qquad \ldots \qquad q_1 + \cfrac{1}{q_2 + \cfrac{1}{\cdots + \cfrac{1}{q_n}}} = \frac{N_n}{X_n};$$

(*) Cette *propriété des fonctions* X_n, conséquence immédiate de la relation (14), a-t-elle été *écrite* quelque part ?

Digitized by Google

ou, sous forme abrégée,

$$[q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n] = \frac{N_n}{X_n}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

puis les fractions

$$[q_2, q_1], \quad [q_3, q_2, q_1], \quad \ldots \quad [q_n, q_{n-1}, \ldots, q_1],$$

inverses des premières.

1° A cause de

$$q_1 = X_1, \quad q_2 = -\frac{2X_{2+1}}{X_1}:$$

$$[q_2, q_1] = -\frac{2X_{2+1}}{X_1} + \frac{1}{X_1},$$

ou

$$[q_2, q_1] = -2\frac{X_2}{X_1}.$$

2° A cause de

$$q_3 = \frac{\frac{3}{2}X_3 + X_1}{2X_2},$$

et de la précédente formule :

$$[q_3, q_2, q_1] = \frac{\frac{3}{2}X_3 + X_1}{2X_2} - \frac{X_1}{2X_2},$$

ou

$$[q_3, q_2, q_1] = \frac{3}{2 2}\frac{X_3}{X_2}.$$

3° De même,

$$[q_4, q_3, q_2, q_1] = -\left(\frac{2}{3}\right)^2 4\frac{X_4}{X_3};$$

etc.

Digitized by Google

En général,

$$[q_n, q_{n-1}, \ldots, q_1] = \left(\frac{1.3\ldots\overline{n-2}}{2.4\ldots\overline{n-1}}\right)^2 n \frac{X_n}{X_{n-1}}, \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

si n est *impair ;* et

$$[q_n, q_{n-1}, \ldots, q_1] = -\left(\frac{2.4\ldots\overline{n-2}}{1.3\ldots\overline{n-1}}\right)^2 n \frac{X_n}{X_{n-1}}, \quad \ldots\ldots \quad (30)$$

si n est *pair* (*).

23. *Remarque.* La combinaison de ces dernières valeurs, avec celles de q_n (22), (23), donne ce résultat simple :

$$\frac{q_n}{[q_n, q_{n-1}, \ldots, q_1]} = \frac{2n-1}{n} x \frac{X_{n-1}}{X_n} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (K)$$

III.

Les polynômes P_n, de M. Hermite.

24. *Une équation différentielle.* Considérons la fonction

$$V_n = X_n \, \mathcal{L} \frac{x+1}{x-1} - P_n; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

P_n étant un certain polynôme entier, dont le degré est inférieur à n. La quantité V_n est une intégrale de l'équation

$$(x^2-1)y'' + 2xy' - n(n+1)y = 0 \text{ (**)}, \quad \ldots\ldots \quad (32)$$

à laquelle X_n satisfait aussi (***).

(*) Ces formules ne diffèrent pas, au fond, de celle qui a été donnée par M. Gerono, dans le premier volume des *Nouvelles Annales* (1842, p. 3). De plus, un procédé bien connu permet de vérifier, très facilement, qu'elles sont générales.

(**) *Cours de M. Hermite*, p. 147.

(***) *Premier Mémoire*, p. 7, équation (7). Dans tout ce qui va suivre, les accents désigneront des dérivées relatives à x.

Digitized by Google

On a :

$$V'_n = \frac{dX_n}{dx} \mathfrak{L} \frac{x+1}{x-1} - \frac{2}{x^2-1} X_n - P'_n,$$

$$V''_n = \frac{d^2X_n}{dx^2} \mathfrak{L} \frac{x+1}{x-1} - \frac{4}{x^2-1} \frac{dX_n}{dx} + \frac{4x}{(4^2-1)^2} X_n - P''_n.$$

Si l'on multiplie par $-n(n+1)$, par $2x$, par x^2-1, et qu'on ajoute les produits, on trouve, eu égard à l'identité

$$(x^2-1)\frac{d^2X_n}{dx^2} + 2x\frac{dX_n}{dx} - n(n+1)X_n = 0 : \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (33)$$

$$(x^2-1)P''_n + 2xP'_n - n(n+1)P_n = -4\frac{dX_n}{dx} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (34)$$

Cette équation ne diffère, de l'équation (32), que par le second membre.

25. *Une intégration.* Remettons y au lieu de P_n :

$$(x^2-1)y'' + 2xy' - n(n+1)y = -4\frac{dX_n}{dx} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (35)$$

Quand on fait abstraction du second membre, une intégrale est $y = X_n$ (24).

Soit donc, suivant la méthode connue,

$$y = X_n \int U_n dx; \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (36)$$

et, par conséquent :

$$y' = X_n U_n + \frac{dX_n}{dx}\int U_n dx,$$

$$y'' = X_n \frac{dU_n}{dx} + 2\frac{dX_n}{dx}U_n + \frac{d^2X_n}{dx^2}\int U_n dx.$$

La substitution donne

$$(x^2-1)X_n\frac{dU_n}{dx} + 2\left[(x^2-1)\frac{dX_n}{dx} + xX_n\right]U_n = -4\frac{dX_n}{dx},$$

ou

$$(x^2-1)X_n^2\frac{dU_n}{dx} + 2\left[(x^2-1)\frac{dX_n}{dx} + xX_n\right]X_nU_n = -4X_n\frac{dX_n}{dx}.$$

Le premier membre est la dérivée de $(x^2-1)X_n^2U_n$ (*).

(*) La multiplication par X_n abrège le calcul.

Digitized by Google

Donc

$$(x^2-1)X_n^2U_n = \alpha - 2X_n^2, \qquad U_n = \frac{\alpha}{(x^2-1)X_n^2} - \frac{2}{x^2-1};$$

puis

$$y = X_n\left[\alpha\int\frac{dx}{(x^2-1)X_n^2} + \beta + \mathfrak{L}\frac{x+1}{x-1}\right]; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (37)$$

α, β étant les constantes arbitraires. Telle est l'intégrale générale de l'équation (35).

26. *Remarques.* — I. D'après l'équation (34), y se réduit à P_n quand α et β ont des valeurs convenables.

II. Il est visible (et connu) que l'intégrale générale de l'équation (32) est

$$y = AX_n + BV_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

27. *Détermination de* α, β. De l'équation (34), on tire, par un calcul facile :

$$P_1 = 2, \quad P_2 = 3x, \quad P_3 = \frac{1}{3}(15x^2-4), \quad P_4 = \frac{1}{12}(105x^3-55x), \ldots \text{(*)} \quad . \quad (39)$$

Donc, en particulier,

$$\frac{2}{x} = \alpha\int\frac{dx}{(x^2-1)x^2} + \beta + \mathfrak{L}\frac{x+1}{x-1}; \quad \ldots\ldots \quad (40)$$

puis

$$-\frac{2}{x^2} = \frac{\alpha}{(x^2-1)x^2} - \frac{2}{x^2-1}.$$

Cette équation donne $\alpha = 2$.

D'un autre côté, si, dans l'égalité (40), on fait croître indéfiniment x, tous les termes tendent vers zéro, excepté β : $\beta = 0$.

28. *Expression de* P_n. Par ce qui vient d'être expliqué, on a

$$P_n = X_n\left[2\int\frac{dx}{(x^2-1)X_n^2} + \mathfrak{L}\frac{x+1}{x-1}\right]; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (L)$$

formule remarquable (**).

(*) Ces valeurs sont celles de N_1, N_2, N_3, N_4, ... (19).

(**) Est-elle nouvelle ?

Digitized by Google

29. *Autre forme de* P_n. Suivant M. HERMITE :

$$P_n = \int_{-1}^{+1} \frac{Z_n - X_n}{z - x} dz \text{ (*)}; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad \text{(M)}$$

Z_n représentant ce que devient X_n quand on y change x en z.

30. THÉORÈME I. *On a, entre deux polynômes consécutifs,* P_{n-1}, P_n, *la relation*

$$P_{n-1}X_n - P_nX_{n-1} = -\frac{2}{n} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad \text{(N)}$$

La formule (L) donne

$$\frac{P_{n-1}}{X_{n-1}} - \frac{P_n}{X_n} = 2\int \frac{dx}{x^2 - 1}\left[\frac{1}{X_{n-1}^2} - \frac{1}{X_n^2}\right].$$

Mais

$$\frac{1}{X_{n-1}^2} - \frac{1}{X_n^2} = \frac{x^2 - 1}{n} \frac{(X_{n-1}X_n)'}{(X_{n-1}X_n)^2}; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

donc la relation précédente se réduit à

$$\frac{P_{n-1}}{X_{n-1}} - \frac{P_n}{X_n} = \frac{2}{n}\int \frac{(X_{n-1}X_n)'}{(X_{n-1}X_n)^2} dx.$$

Intégrant, on trouve (N).

31. *Remarque.* L'intégrale générale de $\frac{(X_{n-1}X_n)'}{(X_{n-1}X_n)^2} dx$ est $-\frac{1}{X_{n-1}X_n} + const.$ Mais, dans le cas actuel, la constante est nulle, attendu que

$$P_1X_2 - P_2X_1 = (3x^2 - 1) - 3x^2 = -1.$$

32. *Autre démonstration.* En vertu de (M), l'égalité (N) devient

$$X_n \int_{-1}^{+1} \frac{Z_{n-1} - X_{n-1}}{z - x} dz - X_{n-1} \int_{-1}^{+1} \frac{Z_n - X_n}{z - x} dz = -\frac{2}{n},$$

ou

$$\int_{-1}^{+1} \frac{X_nZ_{n-1} - X_{n-1}Z_n}{z - x} dz = -\frac{2}{n} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (41)$$

(*) *Loc. cit.*, p. 146.

Digitized by Google

Or, des relations

$$nZ_n - (2n-1)zZ_{n-1} + (n-1)Z_{n-2} = 0,$$
$$nX_n - (2n-1)xX_{n-1} + (n-1)X_{n-2} = 0,$$

on déduit

$$n(Z_nX_{n-1} - Z_{n-1}X_n) - (2n-1)(z-x)Z_{n-1}X_{n-1} - (n-1)(Z_{n-1}X_{n-2} - Z_{n-2}X_{n-1}) = 0;$$

puis

$$n\int_{-1}^{+1}\frac{Z_nX_{n-1} - Z_{n-1}X_n}{z-x}dz - (2n-1)X_{n-1}\int_{-1}^{+1}Z_{n-1}dz = (n-1)\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n-1}X_{n-2} - Z_{n-2}X_{n-1}}{z-x}dz.$$

L'intégrale $\int_{-1}^{+1} Z_{n-1}dz$ est nulle, si n surpasse 1 (*). Donc

$$n\int_{-1}^{+1}\frac{Z_nX_{n-1} - Z_{n-1}X_n}{z-x}dz = (n-1)\int_{1}^{+1}\frac{Z_{n-1}X_{n-2} - Z_{n-2}X_{n-1}}{z-x}dz = const.$$

La valeur de la constante est $\int_{-1}^{+1}\frac{z-x}{z-x}dz = 2$; etc.

33. *Remarque.* Les équations de *récurrence* (D), (N), ont même forme. Si donc $P_1 = N_1$, on aura $P_2 = N_2$, $P_3 = N_3$, etc. Or, $P_1 = 2$, $N_1 = 2$; donc *les polynômes* P_n *sont les numérateurs des réduites de la fraction continue qui représente* $\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$ (**14**, note).

34. *Une sommation.* La relation (N) équivaut à

$$\frac{P_n}{X_n} - \frac{P_{n-1}}{X_{n-1}} = \frac{2}{nX_{n-1}X_n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (42)$$

En supposant $P_0 = 0$, on conclut, de celle-ci :

$$\frac{1}{X_0X_1} + \frac{1}{2X_1X_2} + \cdots + \frac{1}{nX_{n-1}X_n} = \frac{1}{2}\frac{P_n}{X_n}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (43)$$

puis

$$\sum_1^\infty \frac{1}{nX_{n-1}X_n} = \frac{1}{2} lim \frac{P_n}{X_n} = \frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} \text{ (**)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

(*) *Premier Mémoire*, p. 41. D'ailleurs, la propriété énoncée résulte, immédiatement, de la formule de Rodrigues.

(**) Ces résultats confirment tous les précédents.

Digitized by Google

35. Théorème II. *On a, entre les polynômes* P_n, X_n, *la relation*

$$P_n \frac{dX_n}{dx} - X_n \frac{dP_n}{dx} = 2\frac{X_n^2 - 1}{x^2 - 1} \quad \text{(P)}$$

De

$$\frac{P_n}{X_n} = 2\int \frac{dx}{(x^2-1)X_n^2} + \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} \quad \text{(L)}$$

on tire

$$\frac{X_n \frac{dP_n}{dx} - P_n \frac{dX_n}{dx}}{X_n^2} = \frac{2}{(x^2-1)X_n^2} - \frac{2}{x^2-1};\ \text{etc.}$$

36. *Extrait d'une lettre à M. Hermite.* « Je crois vous avoir mandé que,
» dans le Mémoire présenté, samedi, à l'Académie de Belgique, j'ai indiqué
» certaines propriétés dont jouissent vos polynômes P_n, ou, après un
» changement de lettres, vos intégrales

$$» \ J_n = \int_{-1}^{+1} \frac{X_n - A_n}{x - a}\,dx.$$

» (J'appelle A_n ce que devient X_n par le changement de x en a.)

» Je vous remercie de m'avoir fait connaître la belle formule :

$$» \ \sum_0^\infty \alpha^n J_n = \frac{2}{\sqrt{1 - 2a\alpha + \alpha^2}}\,\mathcal{L}\frac{\alpha - a + \sqrt{1 - 2a\alpha + \alpha^2}}{1 - a} \quad \text{(A)}$$

» En la comparant à la formule (79) de mon *deuxième Mémoire* (p. 46),
» j'arrive à un résultat qui m'étonne un peu :

$$» \ \mathcal{L}\frac{z - x + \sqrt{1 - 2zx + z^2}}{1 - x} = \sum_1^\infty X_n \frac{z^{n+1}}{n+1} \quad \text{(B)}$$

» Pour rendre plus facile la comparaison, je change, dans (A), α en z,
» a en x :

$$» \ \sum_0^\infty z^n J_n = \frac{2}{\sqrt{1 - 2zx + z^2}}\,\mathcal{L}\frac{z - x + \sqrt{1 - 2zx + z^2}}{1 - x} \quad \text{(A')}$$

Digitized by Google

» J_n était une fonction de a; donc, dans (A′), on doit prendre

$$\text{» } J_n = \int_{-1}^{+1} \frac{X_n - T_n}{x - t}\, dt,$$

» afin que le *nouveau* J_n ne diffère, de l'*ancien*, que par le changement
» indiqué. Si je ne me trompe, le *nouveau* J_n est donc votre polynôme P_n.
» Ceci admis, (A′) devient

$$\text{» } \sum_0^{\infty} P_n z^n = \frac{2}{\sqrt{1 - 2zx + z^2}}\, \mathcal{L}\, \frac{z - x + \sqrt{1 - 2zx + z^2}}{1 - x}; \quad . \; . \; . \quad (A'')$$

» ou, d'après (B) :

$$\text{» } \frac{1}{2}\sqrt{1 - 2zx + z^2}\, \sum_0^{\infty} P_n z^n = \sum_0^{\infty} X_n \frac{z^{n+1}}{n+1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (C)$$

» Prenons les dérivées des deux membres, par rapport à z :

$$\text{» } \frac{1}{2}\sqrt{1 - 2zx + z^2}\, \sum_0^{\infty} n P_n z^{n-1} + \frac{1}{2}\, \frac{z - x}{\sqrt{1 - 2zx + z^2}} \sum_0^{\infty} P_n z^n = \sum_0^{\infty} X_n z^n;$$

» ou, par l'*équation de définition :*

$$\text{» } (1 - 2zx + z^2) \sum_0^{\infty} n P_n z^{n-1} + (z - x) \sum_0^{\infty} P_n z^n = 2.$$

» Ainsi

$$\text{» } \sum_0^{\infty} [n - (2n+1)zx + (n+1)z^2] P_n z^{n-1} = 2;$$

» ou enfin, parce que $P_0 = 0$:

$$\text{» } \sum_1^{\infty} [n - (2n+1)zx + (n+1)z^2] P_n z^{n-1} = 2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (D)$$

» Voilà ce qui m'étonne. Ai-je commis des fautes, ou vous ai-je mal com-
» pris? L'avenir nous l'apprendra.

» Liége, 10 avril 1890.

» *P. S.* La formule (D) est exacte : elle s'accorde avec la relation
» entre P_{n+1}, P_n, P_{n-1}. »

Digitized by Google

IV.

Quelques propriétés des fonctions X_n (*).

37. Théorème I. *Si l'on représente par* Z_n *ce que devient* X_n *quand on y remplace* x *par* z, *on a*

$$\int_{-1}^{+1} \frac{X_n Z_{n-1} - X_{n-1} Z_n}{z - x} dz = -\frac{2}{n} \text{ (**)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (Q)$$

38. Corollaire I. *Soit* a *une racine de* $X_n = 0$. *Si l'on appelle* A_{n-1} *ce que devient* X_{n-1} *par le changement de* x *en* a :

$$A_{n-1} \int_{-1}^{+1} \frac{X_n dx}{x - a} = \frac{2}{n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (R)$$

39. Corollaire II. *Si* n *est impair :*

$$\int_{-1}^{+1} \frac{X_n}{x} dx = \pm 2 \frac{2.4.6 \ldots \overline{n-1}}{3.5.7 \ldots n} \text{ (***)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (S)$$

Dans ce cas particulier, $a = 0$. Donc

$$A_{n-1} = X_{n-1} = \pm \frac{1.3.5 \ldots \overline{n-2}}{2.4.6 \ldots \overline{n-1}} \text{ (IV)};$$

etc.

40. *Remarque.* n étant *impair*, le premier membre de (S) équivaut à

$$2 \int_0^1 \frac{X_n}{x} dx \text{ (V)}.$$

(*) Petit supplément aux *Recherches*.

(**) Voir ci-dessus (41). La relation (Q) est démontrée, autrement, dans le Mémoire de M. H. Laurent (*Journal de Resal,* t. I, p. 386).

(***) Le signe +, quand $n = \mathfrak{M}.4 + 1$.

(IV) *Premier Mémoire,* p. 10.

(V) En effet, tous les termes de la fraction $\frac{X_n}{x}$ sont de degré *pair*.

Digitized by Google

Donc, au moyen de la formule connue :

$$\int_0^1 \frac{x^n dx}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{2.4.6\ldots\overline{n-1}}{3.5.7\ldots n},$$

la relation (S) devient

$$\int_0^1 \left(\frac{X_n}{x} \mp \frac{x^n}{\sqrt{1-x^2}}\right) dx = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (T)$$

41. Théorème II. a *étant une quantité autre que* x :

$$\int_{-1}^{+1} \frac{(n+1)X_{n+1} - (2n+1)aX_n + nX_{n-1}}{x-a} dx = 0 \quad \ldots\ldots \quad (U)$$

D'après la relation (G), le premier membre se réduit à $(2n+1)\int_{-1}^{+1} X_n dx$. Or, cette intégrale est nulle (32, note).

42. Corollaire. *Les polynômes* P_{n+1}, P_n, P_{n-1} *satisfont à la relation*

$$(n+1)P_{n+1} - (2n+1)xP_n + nP_{n-1} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (V)$$

A cause de

$$P_n = \int_{-1}^{+1} \frac{X_n - Z_n}{x - z} dz, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (M)$$

et de l'égalité (14), le premier membre se réduit à

$$\int_{-1}^{+1} \frac{(n+1)Z_{n+1} - (2n+1)xZ_n + nZ_{n-1}}{x-z} dz;$$

ou, par le changement de z en x et de x en z :

$$\int_{-1}^{+1} \frac{(n+1)X_{n+1} - (2n+1)zX_n + nX_{n-1}}{z-x} dx;$$

On vient de voir que cette intégrale est nulle. Donc, etc.

43. Théorème III. *On a, entre trois fonctions consécutives, la relation*

$$n\frac{dX_{n+1}}{dx} - (2n+1)x\frac{dX_n}{dx} + (n+1)\frac{dX_{n-1}}{dx} = 0 \quad \ldots\ldots \quad (W)$$

Digitized by Google

De l'égalité

$$(n+1)X_{n+1}-(2n+1)xX_n+xX_{n-1}=0, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

on tire celle-ci :

$$(n+1)\frac{dX_{n+1}}{dx}-(2n+1)\left[X_n+x\frac{dX_n}{dx}\right]+n\frac{dX_{n-1}}{dx}=0.$$

Mais, les équations

$$\left.\begin{aligned}\frac{1-x^2}{n}\frac{dX_{n-1}}{dx}&=xX_{n-1}-X_n,\\ \frac{1-x^2}{n}\frac{dX_n}{dx}&=X_{n-1}-xX_n,\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

donnent

$$X_n=\frac{1}{n}\left[x\frac{dX_n}{dx}-\frac{dX_{n-1}}{dx}\right] (*).$$

Substituant, on trouve

$$n(n+1)\frac{dX_{n+1}}{dx}-(2n+1)\left[x\frac{dX_n}{dx}-\frac{dX_{n-1}}{dx}+nx\frac{dX_n}{dx}\right]+n^2\frac{dX_{n-1}}{dx}=0;$$

ou, après suppression du facteur $n+1$, l'égalité (W).

44. Théorème IV. *On a, entre deux fonctions consécutives, la relation*

$$X_n\frac{dX_{n-1}}{dx}-X_{n-1}\frac{dX_n}{dx}=-\frac{n}{1-x^2}(X_n^2-2xX_nX_{n-1}+X_{n-1}^2). \quad \ldots\ldots \quad (X)$$

La combinaison des formules (3) donne

$$\frac{1-x^2}{n}\left[X_n\frac{dX_{n-1}}{dx}-X_{n-1}\frac{dX_n}{dx}\right]=(xX_nX_{n-1}-X_n^2)-(X_{n-1}^2-xX_nX_{n-1});$$

etc.

45. *Remarques.* — I. On sait que

$$X_n^2-2xX_nX_{n-1}+X_{n-1}^2=-2\int_{-1}^{x}X_nX_{n-1}dx \ (**).$$

Donc l'égalité (X) donne celle-ci :

$$X_n\frac{dX_{n-1}}{dx}-X_{n-1}\frac{dX_n}{dx}=\frac{2n}{1-x^2}\int_{-1}^{x}X_nX_{n-1}dx. \quad \ldots\ldots \quad (44)$$

(*) *Premier Mémoire*, p. 43.
(**) *Premier Mémoire*, p. 41.

Digitized by Google

II. Le trinôme $X_n^2 - 2xX_nX_{n-1} + X_{n-1}^2$ s'annule pour $x = \pm 1$ (*). Soit donc

$$X_n^2 - 2xX_nX_{n-1} + X_{n-1}^2 = (1 - x^2)Q_n, \quad \text{. . . . . (45)}$$

Q_n étant un polynôme *entier*. La relation (X) devient

$$\frac{\frac{dX_n}{dx}}{X_n} - \frac{\frac{dX_{n-1}}{dx}}{X_{n-1}} = n\frac{Q_n}{X_nX_{n-1}} \quad \text{. . . . . (46)}$$

Il résulte, de celle-ci :

$$\int_1^x \frac{Q_n}{X_nX_{n-1}}dx = \frac{1}{n}\,\mathfrak{L}\,\frac{X_n}{X_{n-1}} \text{ (**)} \quad \text{. . . . . (47)}$$

III. Conséquemment, *l'intégrale de* $\frac{Q_n}{X_nX_{n-1}}dx$ *ne contient aucun terme algébrique.*

46. Théorème V. *La somme*

$$\frac{Q_1}{X_1X_0} + 2\frac{Q_2}{X_2X_1} + 3\frac{Q_3}{X_3X_2} + \cdots + n\frac{Q_n}{X_nX_{n-1}}$$

égale $\frac{\frac{dX_n}{dx}}{X_n}$.

Si, dans l'égalité (46), on change n en $n - 1$, $n - 2$, ... 1, que l'on fasse la somme des premiers membres et celle des seconds, on trouve le résultat énoncé (***).

47. Théorème VI. *On a, entre trois fonctions consécutives, la relation*

$$(n+1)\left[X_{n+1}\frac{dX_n}{dx} - X_n\frac{dX_{n-1}}{dx}\right] = n\left[X_n\frac{dX_{n+1}}{dx} - X_{n-1}\frac{dX_n}{dx}\right]. \quad \text{. . . . . (Y)}$$

(*) *Loc. cit.*, p. 10. Il est facile de voir que la dérivée ne s'annule pas, pour cette valeur de x.

(**) Au fond, la relation (47) est une simple *identité;* car l'équation (46) *définit* Q_n.

(***) A cause de $X_0 = 1$, le terme $\frac{\frac{dX_0}{dx}}{X_0}$ est nul.

Digitized by Google

Reprenons les égalités

$$(n+1)X_{n+1} - (2n+1)xX_n + nX_{n-1} = 0, \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

$$n\frac{dX_{n+1}}{dx} - (2n+1)x\frac{dX_n}{dx} + (n+1)X_{n-1} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (W)$$

L'élimination de $(2n+1)x$ donne, immédiatement, (Y).

48. Corollaire I. *On a, entre $n+2$ fonctions consécutives, la relation*

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{1.2}X_0\frac{dX_1}{dx} + \frac{1}{2.3}X_1\frac{dX_2}{dx} + \cdots + \frac{1}{n(n+1)}X_{n-1}\frac{dX_n}{dx}\\ = \frac{n}{n+1}X_n\frac{dX_{n+1}}{dx} - X_{n+1}\frac{dX_n}{dx}\ (^*).\end{aligned}\right\} \quad \dots \dots \quad (48)$$

Si l'on divise, par $n+1$, les deux membres de (Y), que l'on change n en $n-1$, $n-2$, ... 1, et qu'on fasse les sommes, on trouve l'égalité (48).

49. Corollaire II. *On a, entre* n + 2 *fonctions consécutives, la relation*

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{1.2}X_2\frac{dX_1}{dx} + \frac{1}{2.3}X_3\frac{dX_2}{dx} + \cdots + \frac{1}{n(n+1)}X_{n+1}\frac{dX_n}{dx}\\ = X_{n+1}\frac{dX_{n+2}}{dx} - \frac{n+2}{n+1}X_{n+2}\frac{dX_{n+1}}{dx} - 1.\end{aligned}\right\} \quad \dots \dots \quad (49)$$

Même démonstration.

50. Corollaire III. x *étant compris entre* 0 *et* 1, *la série*

$$\frac{1}{1.2}X_0\frac{dX_1}{dx} + \frac{1}{2.3}X_1\frac{dX_2}{dx} + \cdots + \frac{1}{n(n+1)}X_{n-1}\frac{dX_n}{dx} + \cdots \quad \dots \quad (50)$$

a pour limite zéro.

Conséquence du Corollaire I.

(*) On ne compte pas $X_0 = 1$.

Digitized by Google

51. Corollaire IV. *x étant compris entre* 0 *et* 1, *la série*

$$\frac{1}{1.2}X_2\frac{dX_1}{dx}+\frac{1}{2.3}X_3\frac{dX_2}{dx}+\cdots+\frac{1}{n(n+1)}X_{n+1}\frac{dX_n}{dx}+\cdots \quad \ldots \quad (51)$$

a pour limite — 1.

Conséquence du Corollaire II.

52. Théorème VII. *On a, entre* n + 2 *fonctions consécutives, la relation*

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{3}(X_0^2-X_2^2)+\frac{1}{5}(X_1^2-X_3^2)+\cdots+\frac{1}{2n+1}(X_{n-1}^2-X_{n+1}^2)\\&=n(X_n^2-X_{n-1}X_{n+1})+(n+2)[X_{n+1}^2-X_nX_{n+2}]-(1-x^4).\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (Z)$$

Si l'on combine, par addition, les égalités (48), (49), on trouve,

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{1.2}(X_0+X_2)\frac{dX_1}{dx}+\frac{1}{2.3}(X_1+X_3)\frac{dX_2}{dx}+\cdots+\frac{1}{n(n+1)}(X_{n-1}+X_{n+1})\frac{dX_n}{dx}\\&=\left(\frac{n}{n+1}X_n-\frac{n+2}{n+1}X_{n+2}\right)\frac{dX_{n+1}}{dx}+X_{n+1}\frac{dX_{n+2}}{dx}-X_{n+1}\frac{dX_n}{dx}-1.\end{aligned}\right\} \ . \ (52)$$

Mais les formules

$$\left.\begin{aligned}\frac{dX_n}{dx}&=\frac{n+1}{1-x^2}(xX_n-X_{n+1}),\\\frac{dX_n}{dx}&=\frac{n}{1-x^2}(X_{n-1}-xX_n)\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (3)$$

donnent

$$\frac{1}{n(n+1)}\frac{dX_n}{dx}=\frac{X_{n-1}-X_{n+1}}{(2n+1)(1+x^2)} \quad \ldots \quad (53)$$

Au moyen de cette valeur, l'égalité (52) se transforme en la relation (Z).

53. *Vérification.* Si l'on change n en $n-1$, et qu'on retranche, on doit donc avoir

$$\begin{aligned}X_{n-1}^2-X_{n+1}^2=(2n+1)\,[(n+2)(X_{n+1}^2-X_nX_{n+2})]+n(X_n^2-X_{n-1}X_{n+1})\\-(n+1)(X_n^2-X_{n-1}X_{n+1})-(n-1)(X_{n-1}^2-X_{n-2}X_n);\end{aligned}$$

ou, après quelques réductions :

$$\left.\begin{aligned}&(2n^2+5n+3)X_{n+1}^2-n(2n-1)X_{n-1}^2+(2n+1)_nX_n^2\\&=(2n+1)\,[(2n+3)X_nX_{n+1}x-X_{n-1}X_{n+1}-(n-1)X_{n-2}X_n].\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (54)$$

Digitized by Google

Si l'on remplace $(n-1)X_{n-2}$ par $(2n-1)xX_{n-1}-nX_n$ (*), on obtient

$$\left.\begin{array}{l}(n+1)(2n+3)X_{n+1}^2-(2n+1)[(2n+3)X_nx-X_{n-1}]X_{n+1}\\ \quad+(2n-1)X_{n-1}[(2n+1)X_n-nX_{n-1}]=0.\end{array}\right\}\quad\ldots\quad(55)$$

Regardons X_{n+1} comme une inconnue. L'une des racines est $\frac{(2n+1)X_nx-nX_{n-1}}{n+1}$; donc l'autre doit être $\frac{2n-1}{2n+3}X_{n-1}$ (**).

En effet,

$$\frac{(2n+1)X_nx-nX_{n-1}}{n+1}+\frac{2n-1}{2n+3}X_{n-1}=\frac{2n+1}{(n+1)(2n+3)}[(2n+3)X_nx-X_{n-1}].$$

Ainsi, l'égalité (55) est une conséquence de la relation (14); et, par suite, il en est de même pour l'équation (54). Enfin, l'égalité (Z) se vérifie très facilement quand $n=1$. Elle est donc générale.

54. Théorème IX. x *étant compris entre* 0 *et* 1, *la série*

$$\frac{1}{3}(X_0^2-X_2^2)+\frac{1}{5}(X_1^2-X_3^2)+\frac{1}{7}(X_2^2-X_4^2)+\frac{1}{2n+1}(X_{n-1}^2-X_{n+1}^2)+\cdots\quad.\quad.\ (56)$$

a pour limite x^2-1.

D'après les Corollaires III et IV :

$$\frac{1}{1.2}(X_0+X_2)\frac{dX_1}{dx}+\frac{1}{2.3}(X_1+X_3)\frac{dX_2}{dx}+\cdots+\frac{1}{n(n+1)}(X_{n-1}+X_{n+1})\frac{dX_n}{dx}+\cdots=-1.\ (57)$$

Transformant, comme ci-dessus, $\frac{dX_1}{dx}$, $\frac{dX_2}{dx}$, ..., $\frac{dX_n}{dx}$, on trouve, au lieu du premier membre,

$$\frac{1}{1-x^2}\left\{\frac{1}{3}(X_0^2-X_2^2)+\frac{1}{5}(X_1^2-X_3^2)+\cdots+\frac{1}{2n+1}(X_{n-1}^2-X_{n+1}^2)+\cdots\right\};$$

etc.

(*) Formule (14).

(**) Le produit des racines égale $\frac{2n-1}{(n+1)(2n+3)}X_{n-1}[(2n+1)X_n-xX_{n-1}]$.

55. *Remarques.* — I. $x^2 - 1 = X_1^2 - 1$. Donc, si l'on transpose le terme $\frac{1}{3} X_0^2 = \frac{1}{3}$, le dernier théorème donne lieu à cette remarquable formule

$$\frac{1}{1.5} X_1^2 + \frac{1}{3.7} X_2^2 + \frac{1}{5.9} X_3^2 + \cdots = \frac{1}{3} \quad \text{. . . . . (58)}$$

II. Ce résultat, trouvé en supposant $x < 1$, subsiste pour $x = 1$.

En effet, la série

$$\frac{1}{1.5} + \frac{1}{3.7} + \frac{1}{5.9} + \frac{1}{7.11} + \cdots$$

a pour limite $\frac{1}{3}$ (*).

III. Soit $x = 0$. La fonction X_n s'annule si n est *impair;* et, si n est *pair,* elle devient $\pm \frac{1.3.5\ldots\overline{n-1}}{2.4.6\ldots n}$. Conséquemment,

$$\frac{1}{3.7}\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{7.11}\left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 + \frac{1}{11.15}\left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\right)^2 + \cdots = \frac{1}{3} \quad \text{. . . . . (59)}$$

IV. D'après le Théorème IX, le premier membre de l'égalité (Z) tend vers $x^2 - 1$, quand n augmente indéfiniment. Ceci exige que l'autre partie du second membre tende vers zéro. Ainsi : x *étant compris entre* 0 *et* 1, *et* n *croissant indéfiniment, la fonction*

$$n(X_n^2 - X_{n-1}X_{n+1}) + (n+2)(X_{n+1}^2 - X_n X_{n+2})$$

a pour limite zéro (**).

56. Théorème X. x *étant plus petit que* 1, *on a*

$$\sum_1^\infty \frac{1}{2n+1} \frac{d}{dx}\left[X_n\left(\frac{X_{n-1}}{n} + \frac{X_{n+1}}{n+1}\right)\right] = -1 \quad \text{. . . . . (}\Omega\text{)}$$

(*) Résultat connu, facile à vérifier.

(**) Cette propriété est loin d'être évidente. Il serait, peut-être, assez difficile de la démontrer *directement.*

Digitized by Google

De la formule

$$X_{n-1}^2 - X_n^2 = (1 - x^2)\frac{1}{n}\frac{d(X_{n-1}X_n)}{dx} \text{ (*)},$$

on tire

$$X_{n-1}^2 - X_{n+1}^2 = (1 - x^2)\left[\frac{1}{n}\frac{d(X_{n-1}X_n)}{dx} + \frac{1}{n+1}\frac{d(X_nX_{n+1})}{dx}\right].$$

Substituant dans la série (56), et supprimant le facteur $1 - x^2$ (**), on trouve la formule (Ω).

57. Corollaire

$$\sum_1^\infty \frac{X_n}{2n+1}\left(\frac{X_{n-1}}{n} + \frac{X_{n+1}}{n+1}\right) = -x \text{ (***)} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (60)$$

58. *Remarque.* Le premier membre est la même chose que

$$\frac{1}{3}X_1 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{5}\right)X_1X_2 + \frac{1}{3}\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{7}\right)X_2X_3 + \cdots$$

ou

$$\frac{1}{3}X_1 + \frac{4}{3.5}X_1X_2 + \frac{4}{5.7}X_2X_3 + \cdots$$

Le second membre $= -X_1$. Donc, si l'on transpose, et qu'on supprime le facteur 4, la formule (60) devient

$$\sum_1^\infty \frac{X_{n-1}X_n}{(2n-1)(2n+1)} = 0. \quad (x < 1) \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (61)$$

Liége, 30 mars 1890.

(*) *Premier Mémoire,* p. 35.
(**) Ceci suppose x différent de ± 1.
(***) Cette formule est en défaut pour $x = 1$. Au contraire, si $x = 0$, elle est identique : tous les termes de la série sont nuls.

Digitized by Google

UNE RECTIFICATION.

On lit, dans le *Premier Mémoire* (p. 5) :

« L'équation (3), aux dérivées partielles, a pour intégrale générale

$$u = (x - z)\varphi \frac{x - z}{\sqrt{1 - x^2}}.\text{ »}$$

Cette égalité, résultat d'une faute d'attention, doit être remplacée par celle-ci :

$$u(x - z) = \varphi\left(\frac{x - z}{\sqrt{1 - x^2}}\right).$$

En effet, si l'on prend les dérivées partielles, on trouve :

$$(x - z)\frac{du}{dz} + u = \frac{1 - xz}{(1 - x^2)^{\frac{3}{2}}}\varphi',$$

$$(x - z)\frac{du}{dz} - u = -\frac{1}{\sqrt{1 - x^2}}\varphi';$$

et, par l'élimination de φ' :

$$\frac{(x - z)\dfrac{du}{dx} + u}{(x - z)\dfrac{du}{dz} - u} = -\frac{1 - xz}{2 - x^2},$$

ou

$$(1 - x^2)\frac{du}{dx} + (1 - xz)\frac{du}{dz} = ux\ :$$

ce qui est l'équation (3).

Digitized by Google

ERRATUM.

Dans la valeur de $[q_3, q_2, q_1]$ (p. 16), on a imprimé $\frac{3}{22}$, au lieu de $\frac{3}{2^3}$.

Digitized by Google

DE

LA NATURE DE LA LUMIÈRE SOLAIRE

DISCOURS

PAR

J.-S. STAS,

Directeur de la Classe des sciences et président de l'Académie pour l'année 1890.

(Lu à la séance publique de la Classe des sciences du 16 décembre 1890.)

Digitized by Google

Digitized by Google

DE

LA NATURE DE LA LUMIÈRE SOLAIRE.

Mesdames, Messieurs,

Je me propose de vous entretenir de *la nature de la lumière solaire*. J'ai hâte de le dire, cette étude s'éloigne tellement de mes travaux habituels, que je crois devoir expliquer comment je suis arrivé à m'occuper de ce sujet difficile.

Il y a dix années, à cette même place, vous parlant de « la science et de l'imagination », j'ai conclu à l'immutabilité des corps réputés simples par la généralité des chimistes, contestant ainsi l'exactitude de l'hypothèse de Lockyer, qui a cru et semble admettre encore que la chaleur, pourvu qu'elle soit suffisamment intense, dissocie les corps dits simples, c'est-à-dire les dédouble, soit en corps nouveaux, soit en corps déjà connus. Ce savant astro-physicien, qui s'est illustré par de glorieuses découvertes spectroscopiques, a exprimé l'opinion que beaucoup de nos substances réputées élémentaires sont dissociées dans l'atmosphère solaire et stellaire.

J'ai consacré onze années de travaux pour me procurer des métaux et des composés métalliques privés de tous corps étrangers à leur propre substance et à m'assurer, ensuite, si ces métaux et ces composés peuvent être dissociés par les forces physiques et chimiques qui sont connues aujourd'hui et dont nous pouvons disposer. J'ai opéré sur l'argent, sur le sodium, sur le potassium, sur le lithium, sur le calcium, sur le strontium, sur le baryum et sur le thallium.

Digitized by Google

Pour réduire ces métaux ou les composés qu'ils forment à l'état de vapeur incandescente, j'ai eu recours, soit au gaz oxhydrique qui par sa combustion fournit la chaleur la plus intense qu'il nous est donné de produire, soit à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électrique. J'ai soumis ces vapeurs, éblouissantes de lumière et diversement colorées, à l'analyse spectrale, ainsi que je l'exposerai plus loin; je me servais, à cet effet, de spectroscopes différents et convenablement appropriés au but que je poursuivais, c'est-à-dire la constatation de la *mutabilité* ou de l'*immutabilité* du spectre calorifique, ou du spectre électrique des vapeurs portées au maximum d'incandescence.

Pour assurer l'exactitude des observations faites dans ces conditions, les seules possibles dans l'état actuel de nos connaissances physico-chimiques, j'ai eu soin de me donner des *points fixes,* indépendants des raies du spectre calorifique et des raies du spectre électrique, caractéristiques de chaque corps, et j'ai pris comme repères les raies du spectre solaire dont l'immutabilité de position résulte des travaux concordants des plus illustres physiciens de l'époque Je m'expliquerai plus loin sur ce qu'on entend par spectre et par raies spectrales.

Je ne puis résumer ici les recherches longues et délicates auxquelles j'ai été obligé de me livrer pour me procurer, à l'état de pureté absolue, les métaux et les composés sur lesquels ont porté mes investigations. Ces recherches sont consignées dans les mémoires que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie. Je dois me borner à dire que l'expérience m'a prouvé que les forces chimiques sont autrement puissantes que les forces physiques pour éliminer d'un corps donné les matières étrangères à la substance de ce corps. En effet, lorsque l'analyse spectrale d'une vapeur, d'un métal ou d'un composé métallique, obtenu par des méthodes de préparation différentes, m'a fourni des résultats discordants, en appliquant à ces métaux ou à ces composés des forces chimiques, il m'a toujours été possible d'enlever le métal ou le composé métallique, cause des discordances, et de ramener ainsi le métal ou le composé métallique, quelle que fût leur origine, à un corps chimiquement immuable, c'est-à-dire à une individualité propre.

Le chlorure de potassium du chlorate et du perchlorate, préparés par les

Digitized by Google

chimistes les plus habiles, réduit à l'état de vapeur à une température suffisante seulement pour rendre cette vapeur incandescente, fournit toujours à l'analyse spectrale les spectres potassique et sodique calorifiques. Ce fait, constaté par l'illustre Bunsen dès l'origine de l'analyse spectrale, a porté Lockyer à croire que, sous l'influence de la chaleur, le potassium se dissocie en sodium et en un autre métal. Ayant recherché la nature chimique *des deux à trois cent millièmes* de matières étrangères que laisse à l'évaporation le chlorure potassique sodifère, et ayant reconnu que le sodium existe dans ces traces de matières étrangères à l'état de *silicate*, j'ai pu priver les composés potassiques de sodium au point de ne plus découvrir son existence à l'analyse spectrale, non seulement à la température de la flamme de la lampe de Bunsen, mais à la température de la combustion du gaz oxhydrique, de l'étincelle, de la décharge et de l'arc électrique.

Le milieu dans lequel on opère pouvant troubler les résultats, j'ai eu soin de réduire les composés potassiques en vapeur, soit dans de l'air, soit dans l'hydrogène *purifié*. Dans ces conditions le potassium s'est montré immutable.

Le règne minéral nous présente trois métaux presque toujours associés à l'état de carbonate ou de sulfate, ce sont : le baryum, le calcium et le strontium. Les propriétés intimes de ces sels offrent une telle analogie, qu'à plusieurs reprises des tentatives ont déjà été faites pour dissocier le baryum en calcium et en strontium. Après avoir exécuté un long travail pour me procurer des composés barytiques, calciques et strontianiques d'origines différentes, et avoir constaté par la voie de l'analyse la pureté chimique de chacun des composés, j'ai eu la hardiesse de soumettre à un contrôle rigoureux les recherches de Bunsen et de Kirchhoff sur le spectre calorifique et sur le spectre électrique du baryum, du calcium et du strontium. En employant des spectroscopes identiques à ceux utilisés par ces illustres physiciens, c'est-à-dire en me mettant dans les mêmes conditions qu'eux, ou en me servant d'un spectroscope d'un pouvoir dispersif encore plus considérable que le grand analyseur de Kirchhoff, j'ai constaté la scrupuleuse exactitude de toutes les observations consignées dans les publications de Bunsen et de Kirchhoff. De plus, j'ai reconnu que la différence signalée par

Digitized by Google

Bunsen et Lecoq de Boisbaudran entre le spectre calorifique et le spectre électrique du baryum, du calcium et du strontium est certaine.

Lorsque j'ai eu accompli ce travail de contrôle et que j'ai été convaincu de l'immutabilité des spectres calorifique et électrique dans les conditions dans lesquelles Bunsen et Kirchhoff ont opéré, j'ai essayé si je ne parviendrais pas à changer le spectre barytique électrique de manière à y faire apparaître des raies caractéristiques du calcium et du strontium, fait qui doit se réaliser si effectivement le baryum peut être dissocié en calcium et en strontium par une augmentation progressive de l'intensité du courant électrique. Dans ce but, après avoir étudié le spectre électrique barytique résultant de l'analyse spectrale de l'arc électrique barytique produit, entre des électrodes de carbone pur, par trente éléments de Bunsen du plus grand modèle, j'ai eu recours successivement au courant obtenu par *cinquante,* par *cent* et par *deux cents* de ces éléments, et enfin au courant d'un dynamo donnant un arc dont la puissance lumineuse a été évaluée à *dix mille* bougies. Ce sont certainement les essais les plus considérables qui aient été tentés dans cette direction.

Pour constater la présence ou l'absence des raies du calcium et du strontium dans le spectre barytique produit, j'ai pris comme repère le spectre solaire. Ce spectre présente en effet les raies caractéristiques du baryum, du calcium et du strontium. Mon attention a été spécialement portée sur l'apparition ou la non-apparition de la raie bleue du calcium et de la raie bleue et des raies violettes du strontium qui, dans l'espace spectral, sont fort distantes des raies bleues propres au baryum. Je crois devoir insister sur l'emploi que j'ai fait des raies du spectre solaire comme repères, parce que l'espace spectral d'un arc voltaïque, saturé d'un composé et éclatant entre des électrodes de charbon pur, se compose à la fois des raies et des bandes caractéristiques du carbone sur lesquelles je reviendrai plus loin, et des raies et des bandes caractéristiques du composé métallique introduit dans l'arc. Cet espace spectral, qui est fortement illuminé par un spectre continu, représente la juxtaposition des raies et des bandes des deux spectres. Pour faire la part qui revient au spectre du carbone et au spectre du baryum introduit dans l'arc, l'observateur est obligé de procéder à un travail de sélec-

Digitized by Google

tion long, excessivement fatigant pour la vue et énervant au delà de toute expression, tandis qu'en se donnant des points immuables, coïncidant avec les raies qu'il recherche, il s'assure par un seul coup d'œil de la présence ou de l'absence de ces raies dans l'espace spectral observé. *En agissant ainsi je ne suis pas parvenu à constater l'apparition de la raie bleue calcique ou de la raie bleue et des raies violettes du strontium* [1].

Le spectre barytique de l'étincelle, d'une faible ou d'une forte décharge, d'un arc faible ou de dimensions excessives a été le même, à l'intensité lumineuse près. A l'aide des courants électriques, quelque puissants qu'ils soient, dont nous disposons actuellement, il n'est pas en notre pouvoir de changer le spectre électrique du baryum, et *ce spectre électrique est différent du spectre calorifique de ce métal.*

D'après mon expérience personnelle, je suis autorisé à en dire autant du calcium, du strontium, du lithium, du magnésium, de l'argent, du sodium et du thallium. Ces métaux sont des individualités à part, que, dans l'état actuel des forces connues, il n'est pas dans la puissance de l'homme de transformer ou de dissocier.

Lorsque tous les travaux dont je viens d'exposer brièvement les résultats étaient terminés, je les ai soumis à une révision complète, en collaboration avec mon ami M. le professeur Depaire, en nous servant d'analyseurs autres que ceux employés primitivement par moi et en changeant, autant que possible, les conditions de l'expérimentation et de l'observation. Cette révision, qui a été longue et minutieuse, a confirmé l'exactitude de tous les résultats résumés ci-dessus. J'ai donc échoué dans les tentatives multiples que j'ai faites pour dissocier l'argent, le baryum, le calcium, le lithium, le magnésium, le sodium, le strontium et le thallium, tous métaux doués de propriétés intimes très différentes. Les éléments que l'immortel Lavoisier nous a légués sont donc

[1] Toutes les installations nécessaires à l'exécution de ces expériences ont été faites par feu Duboscq, de Paris; elles sont décrites dans mon mémoire *Sur les spectres lumineux du baryum*. J'ai procédé aux observations avec le concours éclairé et dévoué de Léonce Rommelaere, en me servant successivement d'un spectroscope de Steinheil identique à celui de Bunsen, d'un grand spectroscope de Duboscq à cinq prismes de flint et d'un excellent héliostat de Gambey pour amener un faisceau de lumière solaire sur une partie de la fente des spectroscopes.

Digitized by Google

immutables par les forces dont nous pouvons disposer actuellement. Sont-ils mutables ailleurs? Le soleil, par exemple, contient-il l'un de ces métaux dans un état autre que celui qui nous est connu ? C'est ce que je vais essayer de rechercher en entrant, après ce long préambule, dans le sujet de ce discours : *La nature de la lumière solaire.*

L'intelligence de l'exposé dans lequel je suis obligé d'entrer exige certaines connaissances d'optique et d'astronomie. Quelque élémentaires que soient ces connaissances, je ne puis pas les supposer familières à tous ceux qui me font l'honneur de m'écouter. Je demande l'indulgence de ceux qui savent; ils me l'accorderont d'autant plus volontiers, qu'ils aiment à se ressouvenir. Je prie tous mes auditeurs incomplètement préparés de me prêter une bienveillante attention.

Les connaissances d'optique dont j'ai besoin concernent quelques-unes des propriétés de la lumière; celles relatives au soleil se rapportent à la structure et à la constitution de cet astre. Je commencerai cet exposé par les notions indispensables sur la lumière.

Dans un milieu homogène et diaphane, la lumière, quelle que soit sa source ou sa nature, se propage en ligne droite. Lorsqu'on interpose sur le trajet de cette ligne droite, ou faisceau lumineux, un milieu diaphane, terminé par deux faces planes inclinées l'une sur l'autre, désigné en optique sous le nom de *prisme*, l'œil cesse d'apercevoir le faisceau. En effet, en pénétrant dans le prisme, le faisceau, formé d'une quantité innombrable de rayons, se brise, dévie de sa route, il se réfracte. Suivant l'angle d'incidence il éprouve ou une réflection totale, dans ce cas il est rejeté vers l'intérieur du prisme sans pouvoir en sortir; ou il dévie vers la base du prisme, et alors il émerge par la face plane opposée en éprouvant une dilatation désignée en optique sous le nom de *dispersion.*

En interposant sur le trajet du faisceau émergeant successivement un deuxième, un troisième..., un dixième prisme, le phénomène de la réfraction et de la dispersion se produit comme avec un seul prisme; il n'y a de différence que dans la valeur de la dispersion, qui est en rapport avec le nombre de prismes traversés par les rayons composant le faisceau lumineux et avec l'intensité lumineuse de ces rayons, qui va en diminuant par suite de l'absorption d'une partie de la lumière par la substance des prismes.

Digitized by Google

L'appareil employé par les physiciens pour la constatation de ces faits porte le nom de *spectroscope* ou *spectromètre*. Il se compose essentiellement d'un ou de plusieurs prismes, suivant la dispersion qu'on veut réaliser par l'analyse prismatique et de l'intensité lumineuse dont on dispose. Je suppose un spectromètre à un seul prisme; ce prisme se place sur un plateau circulaire divisé. Devant l'une des faces planes, destinée à recevoir le faisceau lumineux incident, est fixé un système optique portant le nom de *collimateur*. Le collimateur ou télescope est formé d'un tube cylindrique métallique, dont le bout antérieur est fermé par deux plaques mobiles, pouvant s'écarter ou se rapprocher verticalement l'une de l'autre suivant l'épaisseur du faisceau de lumière qu'on veut laisser pénétrer dans le collimateur. L'autre bout de ce tube est muni d'une lentille destinée à faire parvenir l'image de la fente sur la partie de la face du prisme qui doit recevoir la somme des rayons.

Devant l'autre face plane du prisme est adaptée une lunette astronomique, convenablement ajustée et mobile sur le plateau circulaire divisé. Cette lunette est amenée dans la direction du faisceau réfracté. Si l'on projette successivement sur la fente du collimateur un faisceau de rayons *rouges*, de rayons *jaunes*, de rayons *bleus*, l'œil placé devant l'oculaire de la lunette voit, sur un fond obscur, une image aérienne, ou spectre. Cette image, qui n'a pas d'existence physique, car elle s'évanouit dès qu'on cherche à l'isoler, est formée successivement de rayons rouges, de rayons jaunes, de rayons bleus, considérablement dilatés, dispersés. Il constate à la fois une *continuité absolue* dans les radiations produites et une dégradation sensible de teinte dans les rayons rouges, jaunes ou bleus.

Lorsqu'on substitue à un faisceau de rayons rouges, jaunes ou bleus, un faisceau de lumière blanche, un tout autre ordre de faits se présente. L'œil aperçoit alors, sur un fond obscur, une image aérienne d'une magnificence dont il est impossible de se faire une idée sans l'avoir contemplée. C'est le superbe iris, appelé vulgairement *arc-en-ciel* ou le spectre de la lumière blanche. Cette image aérienne se compose PRINCIPALEMENT de *rouge*, d'*orangé*, de *jaune*, de *vert*, de *bleu*, d'*indigo* et de *violet*. Chacune de ces couleurs passe, *par une transition insensible*, de l'une à l'autre. En traversant un prisme, chaque radiation conserve sa couleur propre, c'est-à-dire

Digitized by Google

produit sur la rétine de l'œil une impression donnée, toujours identique à elle-même.

On doit au génie incomparable de Newton la découverte de la composition de la lumière blanche. Suivant l'*origine* de la lumière blanche, soumise à l'analyse prismatique, le spectre observé présente des différences dans sa constitution. La lumière provient-elle d'un corps fixe, amené à une température excessive, à l'aide de la combustion du gaz oxhydrique, comme l'iridium et la zircone, ou le charbon porté à la plus vive incandescence dans la lampe dite d'incandescence, privée de gaz, le spectre produit, éblouissant de lumière, est absolument *continu*. Houzeau, Liagre et moi nous avons constaté cette continuité lorsque Fiévez, dans son travail sur le spectre solaire, eut donné à son spectromètre un pouvoir dispersif tel, qu'un faisceau de lumière blanche *calorifique* de *1* à *2 millièmes* de *millimètre* fut porté par la dispersion à au delà de *12 mètres*.

Substitue-t-on de la lumière solaire, lunaire, planétaire ou stellaire à la lumière blanche calorifique, les spectres qui se forment, au lieu d'être continus comme celui-ci, sont au contraire *discontinus*. L'espace spectral qui résulte de la réfraction et de la dispersion de ces lumières est sillonné de raies fines et de bandes obscures, transversales, parallèles à l'arête réfringente du prisme. Le nombre de raies fines constaté est d'autant plus grand que la dispersion du faisceau lumineux est plus considérable. On en compte par milliers. La lumière solaire, lunaire, planétaire, stellaire offre donc ce caractère remarquable et inattendu, qu'un très grand nombre de rayons *simples* y font défaut. La place occupée par les raies et bandes obscures dans le spectre de ces luminaires indique le degré de réfrangibilité des rayons simples, qui manquent dans le spectre solaire, et des étoiles fixes. Ce degré de réfrangibilité constitue une des *constantes* de la nature.

Dans son livre sur l'optique, Newton ne fait aucune allusion à la discontinuité du spectre de la lumière solaire, qui a fait de sa part l'objet de si longues et de si glorieuses investigations. On a déjà fait remarquer cette omission. L'étude que j'ai faite de ce livre mémorable m'a convaincu que le mode d'investigation auquel Newton a eu recours, et surtout le système optique dont il a pu disposer pour exécuter ses observations, ne lui ont pas permis

Digitized by Google

d'apercevoir le manque de continuité du spectre de la lumière solaire. Ce manque de continuité n'a été reconnu qu'au commencement de ce siècle, presque au même moment, par Wollaston en Angleterre et par Fraunhofer en Bavière. Mais c'est à Fraunhofer qu'on doit la connaissance du spectre solaire. Les travaux qu'il exécuta et publia de 1814 jusqu'à 1823 sur ce sujet constituent des monuments d'admirable exactitude; ils ont illustré son nom. En faisant ses observations à l'aide d'un spectromètre muni d'*un seul prisme*, il a pu compter au delà de 600 raies obscures, irrégulièrement réparties dans l'espace spectral. Parmi ces raies, il a distingué plusieurs groupes, qu'il a désignés par les lettres A, B, C, D, E, F, G, H, I. Fraunhofer a prouvé avec certitude que ces groupes de raies obscures forment *des lignes de repère fixes*. Tous les travaux spectroscopiques exécutés depuis reposent sur cette découverte fondamentale. Aussi la science, reconnaissante, a imposé le nom de raies de Fraunhofer aux raies et bandes obscures distinguées par lui.

Le célèbre physicien bavarois a constaté aussi que la lumière de la brillante Vénus est « de la même nature que celle du soleil ». En effet, la lumière planétaire est essentiellement de la lumière solaire réfléchie. Il a reconnu que la lumière de Sirius est d'une nature autre que celle du Soleil et que les étoiles fixes ont des spectres différents entre eux.

A l'époque où Fraunhofer fit ses magnifiques travaux, les instruments nécessaires à leur exécution laissaient beaucoup à désirer. Il a dû tout créer. Aujourd'hui, grâce aux perfectionnements apportés à la fabrication du verre avec lequel les prismes et les lentilles sont confectionnés, perfectionnements qui lui sont dus, les observations de tous les phénomènes spectraux sont devenues relativement faciles.

Les faits découverts par Fraunhofer ont été reconnus d'une exactitude qu'on ne saurait dépasser actuellement. Vander Willigen, de Harlem, qui fit tant de travaux spectroscopiques d'une si remarquable précision, a soumis à un contrôle le spectre prismatique de Fraunhofer. Le diagramme de ce spectre [1], donné par Vander Willigen, se confond en effet avec celui de Fraunhofer, si l'on tient compte de la différence du pouvoir réfringent

[1] *Nouveau spectre de réfraction de la lumière solaire*, par Vander Willigen. Archives du Musée Teyler, vol. III. Harlem, 1874, p. 1, bl. I, fig. 2.

Digitized by Google

des prismes employés respectivement par le savant allemand et le savant hollandais.

Aussi longtemps que la signification des raies et des bandes obscures, observées dans les spectres solaire et stellaire, est restée inconnue, les découvertes de Fraunhofer n'ont servi qu'à la détermination précise des indices de réfraction. C'est, du reste, en vue de ces déterminations que le savant bavarois a entrepris ses recherches, comme il est facile de s'en assurer par le titre seul de son mémoire [1].

Un tiers de siècle s'est passé entre la publication de ce monument et la découverte de la signification des raies et bandes obscures des spectres solaire et stellaire. On doit cette découverte aux mémorables recherches théoriques de Kirchhoff [2] et aux expériences entreprises en commun par Kirchhoff et Bunsen.

Pour faire comprendre comment Kirchhoff, dont la science déplore la perte prématurée et récente, est parvenu à découvrir et à démontrer la signification de ces raies et de ces bandes, je dois exposer d'abord les faits que l'on observe lorsqu'on répand dans une flamme ou dans une étincelle, ou une décharge électrique, une matière terrestre, susceptible de prendre la forme de vapeur, et analysant ensuite prismatiquement cette flamme, cette étincelle ou cette décharge.

En allumant de l'alcool renfermant en solution un composé métallique, volatilisable à la température de la combustion de l'alcool, ainsi que W. Miller l'a exécuté dès 1845, ou en introduisant un composé métallique volatilisable dans la flamme obscure de l'hydrogène ou du gaz d'éclairage dépouillé de son pouvoir éclairant par son mélange avec un excès d'air, comme Kirchhoff et Bunsen l'ont pratiqué en 1859, ou en saturant d'un composé métallique une étincelle ou une décharge électrique, comme Vander Willigen l'a fait [3], les flammes, l'étincelle et la décharge prennent une coloration en rapport avec la nature propre de la substance qui y est réduite à l'état de vapeur incandescente.

1 *Détermination du pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques*, 1823.

2 *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1861.

3 *Poggendorff's Annalen*, Bd. CVI.

Digitized by Google

En d'autres termes, elles émettent des radiations lumineuses de refrangibilités différentes.

Ainsi :

Les flammes sodiques sont colorées en jaune orangé;

Les flammes potassiques, en bleu foncé;

Les flammes lithiques, en rouge carmin;

Les flammes calciques et strontianiques, en rouge plus ou moins foncé;

Les flammes barytiques, en vert jaunâtre;

Les flammes thalliques, en vert pur et intense.

Ces faits sont parfaitement connus. D'après mon expérience, qui date de 1879 et 1880, et d'après le contrôle auquel j'ai soumis mes observations en collaboration avec M. Depaire, ces colorations sont strictement corrélatives à la températures des flammes. *L'œil n'aperçoit que les radiations qui prédominent.* Les colorations que je viens d'indiquer, et qui comprennent la gamme des couleurs, se rapportent à une température comprise entre 900° et 1200°. En portant de 1800° à 2500°, ces colorations se modifient complètement. A mesure que les radiations de la plus grande réfrangibilité apparaissent et qu'enfin les radiations ultra-violettes ont apparu et prédominent considérablement sur toutes les autres, *la coloration des flammes citées est la même.*

Le bleu d'azur est la caractéristique de toutes ces flammes, portées à la plus vive incandescence qu'il nous est donné de produire.

On réalise ces transformations à l'aide de la chaleur développée par la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène. Ainsi que je l'expose dans l'introduction de mes recherches spectroscopiques, l'hydrogène *pur* brûle dans l'air *pur* avec une flamme tellement obscure, qu'elle est invisible même dans les ténèbres. Il faut, pour constater sa présence, passer dans la flamme un fil fin de platine, qui y devient instantanément incandescent. En introduisant, à l'aide d'un mécanisme approprié, dans l'intérieur de la flamme invisible, une certaine quantité d'oxygène, de manière à brûler une partie seulement de l'hydrogène, le restant de l'hydrogène devient immédiatement *éclairant,* la flamme se colore en bleu, et cette coloration passe et se maintient ensuite au *bleu d'azur,* aussi longtemps qu'on veut prolonger l'expérience.

En pénétrant dans l'intérieur d'un *fort dard* oxhydrique (formé *exacte-*

Digitized by Google

ment de 2 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'oxygène purs) ou dans l'arc électrique, long de 2 centimètres au moins, à l'aide d'une très mince tige de carbone pur, entièrement pénétrée et enveloppée à son extrémité de l'un des composés métalliques cités ci-dessus, on observe, à l'instant de l'immersion du bout enveloppé, une illumination d'*un blanc éclatant,* à peine teinté d'azur, qui passe immédiatement au bleu d'azur. L'*enveloppe* du du dard oxhydrique ou de l'arc électrique, qui nécessairement est à une température très inférieure à celle du cône interne du dard ou de l'arc dans lequel l'introduction a eu lieu, prend la coloration propre à chaque composé métallique. L'illumination blanche est concomitante de la dissociation qu'éprouvent les composés métalliques lorsqu'ils pénètrent soit dans le dard oxhydrique, soit dans l'arc électrique. Cette illumination me semble donc étrangère à la couleur propre de la flamme ou de l'arc, qui ne laisse apercevoir que des radiations d'extrême réfrangibilité, absolument comme c'est le cas du son produit par le sifflet d'une chaudière à vapeur, chauffée à haute température et maintenue à pression constante. L'oreille, très éloignée du sifflet, perçoit un son grave. En s'en approchant convenablement, elle entend un son aigu. Le son devient strident lorsque l'oreille est tout près du sifflet. Il en est ainsi de l'onde lumineuse.

La coloration des flammes contenant des métaux ou des composés métalliques réduits à l'état de vapeur est donc en rapport avec la température des flammes. Je le répète, lorsque la température est élevée au point de faire apparaître les dernières radiations ultra-violettes et enfin de faire prédominer celles-ci considérablement sur toutes les autres radiations, la coloration de toutes ces flammes semble être uniformément d'*un bleu d'azur.*

A une température excessive, la nature des corps répandus dans les flammes ne serait donc pour rien dans la coloration qu'affectent celles-ci. Cette coloration semble être due exclusivement à la prédominance des radiations d'extrême réfrangibilité.

La coloration bleu d'azur se constate même lors de la combustion dans l'air de certains métaux. Le magnésium pur en fournit un exemple frappant. Les photographes qui se servent de la lumière magnésienne savent que cette lumière, très photogénique, est d'un blanc fortement bleui.

L'analyse prismatique des radiations des *flammes* métalliques dont la

Digitized by Google

température est comprise entre 900° et 1200°, laisse apercevoir un espace spectral *obscur*, sillonné :

Pour les composés sodiques, par une double raie jaune; pour les composés potassiques, par une raie brune et une raie d'un bleu violacé; pour les composés lithiques, par une raie brune, une raie jaune et une raie violette; pour les composés barytiques, calciques et strontianiques, par une série de raies et de bandes rouges, orangées, jaunes, vertes et bleues; pour les composés thalliques, par une raie verte unique.

Ces raies et ces bandes, désignées sous le nom de raies et de bandes d'*émission*, sont éblouissantes de lumière, contrastant ainsi avec les ténèbres au sein desquelles elles apparaissent.

La position des raies et bandes d'émission, caractéristiques de chaque corps, est toujours la même, c'est-à-dire qu'elles occupent invariablement la même place dans l'espace spectral considéré; mais, pour plusieurs corps, leur nombre peut varier d'après la température de la vapeur analysée. D'une certaine limite de température jusqu'au maximum de chaleur le nombre de raies et de bandes, caractéristiques de chaque corps, reste *fixe, immuable.* Elles constituent des constantes naturelles. Ce maximum est atteint pour tous au point de fusion du platine. Dans ce cas, les raies et les bandes ne sillonnent plus un espace spectral *obscur*, mais bien un milieu fortement *illuminé* par un spectre continu. Lorsque les vapeurs métalliques sont portées dans le gaz oxhydrique à la température de la fusion de l'iridium, qui est la chaleur la plus élevée à laquelle nous puissions atteindre, le spectre continu est d'une intensité lumineuse telle, qu'il faut un œil très perçant et habitué aux recherches spectroscopiques pour apercevoir encore les raies et les bandes dans l'immobilité et l'immutabilité que la nature leur a assignées.

En analysant de même prismatiquement l'étincelle, la décharge ou l'arc électrique dans lesquels on a répandu jusqu'à saturation de la vapeur d'un métal ou d'un composé métallique facilement volatilisable, comme l'ont exécuté successivement Wheatstone, Kirchhoff, Bunsen, Angström, Thalen, Huggins, Lecoq de Boisbaudran, on aperçoit un espace spectral *illuminé*, sillonné de raies, quelquefois de bandes diversement colorées, étincelantes de lumière. La position des raies et des bandes du spectre électrique est toujours la même; dans des cas donnés, le nombre de raies fournies par

Digitized by Google

chaque corps peut varier, mais ce nombre reste invariablement le même lorsque l'intensité électrique est suffisante, comme le fait se présente dans une forte décharge et dans l'arc électrique.

La longueur et la largeur des raies peut changer, ainsi que Lockyer l'a constaté. Ce changement est dû à une question d'intensité lumineuse; Fiévez l'a démontré le premier. Je reviendrai plus loin sur ce sujet important.

La position et le nombre maximum des raies du spectre électrique ne sont pas toujours les mêmes que la position et le nombre maximum des raies du spectre de flamme ou calorifique.

Cette différence, signalée par Bunsen et Lecoq de Boisbaudran pour certains corps, est niée par d'autres spectroscopistes. Cette différence est indubitable pour les spectres calorifiques et électriques sodiques, lithiques, calciques, strontianiques et barytiques. Le contrôle minutieux auquel j'ai soumis les spectres des composés de ces métaux le prouve d'une manière incontestable. Plus loin j'exposerai en détail les faits sur lesquels je m'appuie pour affirmer l'impuissance de celui qui observe et expérimente pour faire disparaître la différence tant de la position que du nombre des raies du spectre calorifique et du spectre électrique de certains corps.

Sauf en ce qui concerne le spectre de l'arc électrique dans lequel les métaux sont répandus, grâce au courant, et pour lequel les raies observées sont dues exclusivement aux différences de réfrangibilité des radiations émises par chaque corps, le spectre de l'étincelle et, à plus forte raison, celui de la décharge électrique présentent la somme des rayons émis par le métal répandu dans l'étincelle ou la décharge, et par le milieu dans lequel l'étincelle ou la décharge a jailli. Ce milieu étant l'air ambiant ou l'air purifié, l'espace spectral observé renferme, outre les raies électriques propres à la substance, les raies atmosphériques. Ce milieu étant l'hydrogène, l'espace spectral renferme une partie ou toutes les raies caractéristiques de l'hydrogène. L'observateur doit donc faire la part de ce qui revient au corps et au milieu, comme c'est le cas lorsqu'on observe les radiations émises par un arc électrique, jaillissant entre des électrodes de charbon, arc dans lequel on a volatilisé un métal ou un composé métallique, ainsi que je l'ai dit déjà dans le préambule de cette lecture.

Lors de l'exécution de leurs recherches sur les spectres électriques,

Digitized by Google

Kirchhoff, Angström, Thalen, Huggins, Lecoq de Boisbaudran ont opéré dans l'air; ils ont donc dû effectuer le travail de sélection nécessaire. En contrôlant leurs résultats, j'ai agi tantôt dans l'air, mais le plus souvent dans l'hydrogène, dont le spectre de raies est incomparablement plus simple et partant la sélection plus facile et plus certaine.

Lors de la revision de tous mes travaux spectroscopiques avec M. Depaire, nous avons agi de même, en opérant tantôt dans l'hydrogène pur, confiné et sec, tantôt dans un courant de ce gaz; nous avons constaté ainsi avec certitude que les résultats obtenus dans ces conditions sont toujours les mêmes et conduisent au spectre électrique vrai des corps.

Les spectres des substances terrestres, qu'ils soient d'origine calorifique ou d'origine électrique, qu'ils se détachent sur un espace spectral *obscur* ou sur un espace spectral *illuminé*, sont toujours constitués par des raies simples *brillantes* ou par des raies et des bandes *brillantes*, fort lumineuses, tandis que les raies et les bandes du spectre du soleil, et les raies et les bandes des spectres stellaires sont toujours formées par des raies et des bandes *obscures*.

Kirchhoff, en exécutant ses mémorables recherches sur le spectre solaire et sur le spectre des éléments chimiques, constata qu'un nombre très considérable de raies et de bandes *obscures* du spectre solaire coïncident exactement avec les raies et bandes *lumineuses* des spectres *électriques* des corps terrestres. Il reconnut ainsi que *soixante* raies brillantes du spectre électrique du fer pur coïncident exactement avec soixante raies obscures du spectre solaire. Soumettant au calcul des probabilités le fait de ces coïncidences, Kirchhoff arrive à cette conclusion, qu'on peut parier l'unité suivie de *dix-huit* zéros, contre 1, c'est-à-dire un nombre qu'on ne saurait exprimer intelligiblement, que ces coïncidences sont dues à l'existence du fer dans le soleil. Les magnifiques travaux de Angström, de Thalen et de Huggins confirmèrent absolument les observations de Kirchhoff. Thalen prouva la coïncidence de *deux cents* raies obscures du spectre solaire avec *deux cents* raies brillantes électriques du titane.

Lorsque Kirchhoff reconnut les coïncidences, il lui resta à rechercher pourquoi des raies lumineuses terrestres peuvent et doivent correspondre à

Digitized by Google

des raies obscures solaires. Le fait complexe suivant lui en fournit l'explication : une flamme, telle que celle de l'alcool sodé ou la flamme non lumineuse de la lampe de Bunsen, dans laquelle on a répandu des traces de sel marin et qui est colorée en jaune orangé, donne à l'analyse prismatique un espace spectral obscur, sillonné d'une double raie brillante d'un jaune orangé, correspondant exactement à la raie-bande solaire désignée par Fraunhofer sous la lettre D. Si, ainsi que Kirchhoff l'a pratiqué, on place derrière la flamme sodée le dard de la lumière de Drummond, qui fournit un spectre continu intensément illuminé, ou la lumière qu'émet l'iridium aggloméré, ou l'acide zirconique porté à la température la plus élevée à l'aide du gaz oxhydrique, on voit disparaître la double raie brillante et apparaître un spectre continu, sillonné d'une double raie obscure exactement en coïncidence à la fois avec les raies brillantes disparues et avec la raie D de Fraunhofer.

L'analyse prismatique de la lumière émise par le sodium en combustion dans l'air permet d'apercevoir la double raie D *brillante* ou *obscure,* suivant qu'on projette sur la fente du spectroscope une partie de l'enveloppe externe de la flamme sodique ou l'image de la flamme entière. Dans le premier cas, la double raie D est *brillante* sur un fond obscur; dans le second cas, elle est intensément *obscure* sur un fond éblouissant de lumière. L'enveloppe externe de la flamme est jaune; elle consiste en oxyde sodique formé par la combustion du métal; sa température est relativement basse. L'intérieur de la flamme, siège de la combustion, paraît d'un blanc bleuâtre; la température y est excessive. Cette flamme complexe se conduit donc comme deux flammes séparées. Son enveloppe remplace la flamme sodée dans l'expérience de Kirchhoff, et son intérieur, la lumière de Drummond, ou la lumière émise par les corps fixes portés à la plus vive incandescence.

Kirchhoff, appliquant aux radiations *lumineuses* le principe établi déjà pour la *chaleur rayonnante,* de la proportionnalité entre le pouvoir émissif et le pouvoir absorbant d'un même corps pour des rayons d'une espèce déterminée, a expliqué le fait du renversement des raies d'après le même principe. Il s'est dit : la flamme de l'alcool sodé donnant, à la température de sa combustion, un spectre qui se réduit à une double raie jaune-orangé, n'a de pouvoir émissif que pour les radiations jaunes orangées. Son

Digitized by Google

pouvoir absorbant pour les radiations jaunes orangées émanées d'un autre source doit être proportionnel, et ce pouvoir absorbant doit être à peu près nul pour toutes les radiations d'une autre espèce. Lorsqu'un faisceau de lumière blanche, contenant toutes les radiations, traverse la flamme sodée, les rayons jaune-orangé de ce faisceau perdent de leur intensité, et les rayons jaune-orangé émis par la flamme sodée, qui est à une température incomparablement moins élevée, n'ont pas une intensité lumineuse qui compense la perte d'éclat du faisceau transmis. La région du spectre, siège des rayons jaune-orangé, doit donc être sillonnée d'une double raie obscure, se détachant sur un spectre continu produit par la dispersion du faisceau de lumière blanche.

Les raies brillantes renversées *dans les conditions que je viens d'indiquer,* c'est-à-dire ces raies obscures, ont reçu le nom de raies *d'absorption.*

Lorsque Kirchhoff eut exposé son explication, Angström [1], qui a exécuté d'admirables recherches spectroscopiques et à qui l'on est redevable d'une étude complète du spectre normal du soleil en rapport avec le spectre électrique des corps simples, étude dont la précision n'a jamais été surpassée, a réclamé la priorité de la théorie de Kirchhof du renversement des raies, démontré par l'illustre physicien allemand. Les recherches d'Angström, publiées en 1853, étaient restées ignorées en Allemagne même. Le savant suédois les a écrites dans sa langue maternelle, langue généralement inconnue à ceux qui se livrent à l'étude des sciences. Ce mécompte, si préjudiciable à la propagation des découvertes et à l'intérêt de ceux qui cultivent les sciences, arrive fatalement aux savants qui persistent à se servir de leur langue maternelle pour la publication de leurs travaux et qui ont la prétention d'imposer la connaissance de leur idiome aux hommes dont le temps et les forces sont absorbés par des études plus nécessaires que la culture de langues particulières à certaines nations, quelque intéressante et utile que soit la connaissance de ces langues.

L'exactitude de l'explication de Kirchhoff et d'Angström a été contestée,

[1] Angström dit : « Dans mon mémoire de 1853, j'énonçais déjà, le premier en date, à ce que je crois, la loi fondamentale qu'*un gaz à l'état d'incandescence émet des rayons lumineux de la même réfrangibilité que ceux qu'il peut absorber*. (*Recherches sur le spectre solaire* (spectre normal du soleil). Upsal, 1868, p. 39.)

Digitized by Google

et notamment par Fievez, qu'une mort prématurée a enlevé à la science. Fievez a rapproché le fait du renversement des raies des phénomènes des interférences. Kirchhoff et Fievez n'ont point prouvé l'exactitude de leur explication, comme c'est le cas des théories en général. L'une et l'autre sont des conceptions de l'esprit, mais le fait démontré par Kirchhoff reste acquis à la science positive avec les conséquences fondamentales qu'il entraîne avec lui.

Les recherches de l'illustre physicien allemand sur le spectre solaire et sur les spectres des éléments chimiques peuvent incontestablement être rangées parmi les monuments scientifiques les plus remarquables de la seconde moitié de ce siècle. En nous prouvant la signification des raies de Fraunhofer, Kirchhoff nous a montré que la lumière du soleil, des planètes, de leurs satellites, des étoiles fixes et des nébuleuses constitue le langage de ces astres et qu'elle nous dit leur état présent, leur état passé et leur avenir. La lumière, on le sait, est la seule voie de communication existante entre les astres innombrables qui se meuvent dans l'infini et l'humanité entière. Et cependant, il a suffi de l'observation et de l'expérience, fécondées par le génie de Kirchhoff, pour comprendre mieux leur langage que celui de nos semblables vivant à l'état sauvage.

Les recherches théoriques de Kirchhoff ont été, entre ses mains et entre les mains de Bunsen, l'origine d'une nouvelle méthode d'analyse d'une précision qui défie toute qualification. Elle leur a permis de découvrir immédiatement deux métaux nouveaux, d'une merveilleuse ressemblance avec le potassium. La découverte du thallium, du gallium, de l'indium, du germanium, du scandium, etc., tous éléments métalliques qui n'existent qu'en quantité infinitésimale dans des minerais, est également due à l'analyse spectrale. On peut prédire, sans crainte de se tromper, que les métaux dont l'avenir nous promet la découverte seront révélés par l'analyse spectrale. Cette méthode d'investigation, entre les mains de ceux qui savent s'en servir, équivaut à une force nouvelle mise à la disposition de l'homme de science.

Après avoir exposé ces quelques notions élémentaires sur certaines propriétés de la lumière en général et de la lumière solaire en particulier, je vais essayer de vous entretenir du *soleil,* en me renfermant aussi strictement

Digitized by Google

que possible dans les connaissances dont j'ai besoin pour atteindre le but que je me suis proposé.

. Dans la préface de son livre si remarquable LE SOLEIL, Young, astro-physicien américain, prévient le lecteur qu'il se propose de présenter une vue générale *de ce qu'on sait ou de ce qu'on croit* au sujet du soleil. Je pense que le célèbre astronome aurait agi prudemment en ajoutant qu'il a l'intention d'exposer ce qu'on *croit savoir*. Cette réserve résulte pour moi de l'étude attentive que j'ai faite des ouvrages les plus récents et notamment des traités de Secchi, de Lockyer et de Young lui-même sur le soleil.

La science moderne admet qu'à peu près toute force développée dans les phénomènes mécaniques, chimiques ou vitaux qui se passent à la surface de la terre peut être rapportée directement au soleil. La démonstration de l'exactitude de cette assertion a été faite déjà à plusieurs reprises, et il me serait facile de la donner; mais elle m'éloignerait de mon sujet, dans lequel j'ai hâte d'entrer. Rien d'étonnant, d'après cela, que la science attribue un rôle prépondérant à l'étude de l'astre du jour. Si ses radiations venaient à cesser pendant un temps qu'il n'est pas possible de préciser, mais qui ne serait pas très long, peu de mois, tout mouvement physique ou vital cesserait à la surface de la terre. L'eau des fleuves et des mers serait congelée, et notre globe, malgré l'atmosphère qui l'entourerait encore, serait l'égal de la lune, un corps inerte, errant dans l'infini, non à l'aventure, mais d'après les lois connues ou inconnues qui régissent les mouvements des astres lumineux ou obscurs.

L'intérêt qui s'attache à la connaissance de la structure et de la constitution du soleil est donc de premier ordre pour nous. Les sacrifices considérables que s'imposent les États et les particuliers pour créer et entretenir des observatoires et organiser des expéditions astronomiques lointaines, les recherches astronomiques et astro-physiques auxquelles on se livre avec tant d'ardeur sont donc parfaitement justifiés. Est bien aveugle celui qui ne voit et ne comprend pas cela.

Le soleil présente à l'œil nu l'aspect d'un disque rond, blanc pour quelques observateurs, bleu pour d'autres, notamment pour Young et Langley. La constatation que j'ai faite de l'identité de coloration des flammes portées à température excessive m'a porté à me convaincre par moi-même de la

Digitized by Google

couleur du soleil, lorsque cet astre est au méridien et qu'il est observé dans l'air pur, c'est-à-dire privé de nuages blancs.

Je l'ai trouvée variable du *bleu* au *bleu d'azur*. Quand la vue sait supporter sans fatigue excessive l'éclat de l'astre, il suffit alors d'interposer entre l'œil et la surface solaire une plaque métallique, percée d'une ouverture circulaire à bords d'une netteté parfaite, d'un diamètre compris entre deux et trois dixièmes de millimètre, pour se rendre compte de la couleur de cette surface, si, bien entendu, l'œil est apte à apprécier les couleurs avec précision, ce qui n'est pas le cas pour tout le monde. Les essais auxquels j'ai soumis les personnes qui ont bien voulu se prêter à l'expérimentation m'ont fait reconnaître que le nombre de ceux qui jugent mal la couleur bleue est aussi considérable que celui des personnes qui apprécient mal le rouge.

Les astronomes sont d'accord pour admettre que, sur les bords du disque solaire, sa couleur s'assombrit notablement. D'après Langley, elle est d'un brun-chocolat. Mes observations, suffisamment répétées, m'ont convaincu que la couleur de la surface est rarement uniforme.

Les ondulations que l'on y remarque varient du bleu au bleu d'azur très pâle. A l'œil nu on y remarque parfois des taches noires, de formes irrégulières. A des moments donnés les dimensions de ces taches sont telles, qu'elles occupent une grande partie du disque. Ces taches ne peuvent être attribuées à une illusion de la vue, car la photographie peut les reproduire.

L'image directe des taches est projetée facilement sur un écran à l'aide d'une lunette dont l'axe optique est dirigé sur le disque solaire. La démonstration indubitable de leur existence date de 1588. En 1611, le père Scheiner d'abord, Galilée ensuite en firent l'objet d'observations suivies. Aujourd'hui, grâce aux travaux de W. et de J. Herschel, de Secchi, de Carrington, de Warren de la Rue, de Faye, de Spoerer, de Wolf et Schwabe, on sait que les taches tiennent au soleil même; que leur fond, dit *noyau*, est obscur, noir, quelquefois cependant coloré en rouge, et que leurs bords ou *pénombre*, et surtout le bord intérieur, sont tantôt fortement, tantôt faiblement éclairés, lumineux. Ce sont des cavités profondes, ressemblant au cratère des volcans.

L'astronome anglais Wilson l'a dit dès 1774, et Warren de la Rue l'a

Digitized by Google

prouvé stéréoscopiquement; telle est l'impression qui m'est restée des observations que j'ai faites au Collège romain, avec le concours de Secchi et à l'aide des instruments astronomiques ayant servi à l'exécution des grands travaux du célèbre astronome sur les taches solaires. Ces taches se meuvent avec l'astre. De leur apparition au bord oriental du soleil, de leur disparition au bord occidental et de leur réapparition subséquente, on a déduit le nombre de jours que cet astre met à tourner sur lui-même. Des observations répétées pendant plusieurs années, on a conclu qu'en *moyenne* ce nombre est égal à *vingt-cinq jours et demi* à peu près, $25^{js},38$ d'après Carrington.

Je parlerai plus loin des résultats auxquels a conduit l'analyse spectrale des bords lumineux de la *pénombre* des taches solaires.

Le diamètre moyen du disque solaire à midi est tel, qu'une rangée de sept cents soleils, placés les uns à côté des autres, remplirait le cercle de l'horizon. Son diamètre réel est d'environ 1,400,000 kilomètres.

Le doute existe sur l'état physique du soleil. Les uns croient qu'il est constitué par un solide opaque, *noir,* entouré d'une atmosphère gazeuse, lumineuse; d'autres admettent qu'il est liquide, incandescent, enveloppé d'une atmosphère gazeuse, lumineuse; d'autres enfin le considèrent comme formé d'une masse sphérique de vapeurs et de gaz incandescents, fortement comprimés.

La densité moyenne du soleil, comparée à celle de l'eau, est 1,406, et, comparée à celle de la terre, 0,253; c'est-à-dire le quart seulement de celle de notre globe. Eu égard aux corps dont on y a reconnu l'existence, tels que le fer, le manganèse, le zinc, le titane, le nickel, le cobalt, le magnésium, le calcium, le baryum, le strontium, tous métaux fort lourds, une si faible densité n'est guère compatible avec l'hypothèse de la solidité ou de la liquidité de l'astre du jour. Elle ne se concilie qu'avec un état de vapeurs et de gaz soumis à une pression et à une température croissantes de la périphérie jusqu'au centre du soleil, la chaleur maintenant constamment les vapeurs et les gaz au-dessus de leur température critique. Cette hypothèse, généralement admise aujourd'hui, rend le mieux compte de la majeure partie des phénomènes observés, mais elle laisse encore bien des points inexpliqués. Le mode de formation, le maintien dans son état actuel de la masse du soleil, l'origine

Digitized by Google

de l'énergie développée par l'astre, la durée de cette énergie eu égard aux pertes incessantes qu'il éprouve par les radiations dans l'espace sont autant de problèmes qui attendent une solution. Les hypothèses qui ont été émises pour rendre compte des faits témoignent plus en faveur de l'imagination des savants qui les ont produites qu'elles n'ont éclairé ces insondables mystères.

Les astronomes ont donné le nom de *photosphère* à la surface visible du soleil ; c'est d'elle qu'émanent *principalement* ses radiations. Lorsque, dans une éclipse totale, la lune nous cache presque toute la surface solaire, l'inspection des bords de l'astre non éclipsés (à l'aide d'une lunette suffisamment puissante) permet d'apercevoir une couche de matière gazeuse rosée, d'une épaisseur relativement faible, si on la compare au diamètre du soleil. Frankland et Lockyer ont donné le nom de *chromosphère* à cette couche de matière rosée. Au delà de la chromosphère existe un cercle *irrégulier* de lumière perlée, composé de rayons divergents qui s'étendent à d'énormes distances du soleil, souvent à trois fois le diamètre de l'astre. Ce cercle, à dimensions si variables, a reçu le nom de *couronne solaire.*

Il arrive très souvent que de différentes parties de la chromosphère s'élèvent, au travers de la couronne, à des hauteurs prodigieuses, des nuages et des jets de flammes qui sont connus sous le nom de *protubérances* ou *proéminences* solaires. Ces nuages et ces jets sont colorés en rouge plus ou moins foncé. Janssen et Lockyer ont découvert, simultanément et indépendamment l'un de l'autre, et en partant de considérations différentes, qu'on peut constater la présence de ces protubérances en dehors du temps de l'éclipse solaire totale. Il suffit, en effet, de viser à l'aide d'un bon équatorial les bords de l'astre pour les apercevoir. L'étude que j'ai faite de ces protubérances avec le concours de Secchi me porte à croire que leur coloration est due au calcium et au strontium existant dans ces nuages et dans ces jets enflammés. L'analyse spectroscopique de la chromosphère et des protubérances solaires, exécutée en 1871 et 1872 par Young, lui a permis d'y constater la présence du calcium et du strontium.

Ainsi que je l'expose dans mes études spectroscopiques sur ces métaux, on peut reproduire à volonté les différentes nuances offertes par les protubérances à l'état de nuages ou de jets incandescents.

Digitized by Google

Vers le point de fusion du platine (1800°), la vapeur calcique, pour ne parler que de celle-là, est rouge foncé. Entre le point de fusion du platine et le point de fusion de l'iridium, la couleur passe du *rouge foncé* au *rouge brun*.

Enfin à la température de l'iridium fondu, qui est la plus élevée qu'il nous soit donné de produire, la couleur de la vapeur calcique est bleue.

Si l'hypothèse que je fais est exacte, c'est-à-dire si les protubérances doivent réellement leur coloration variable du rouge ou rouge brun aux vapeurs calciques et strontianiques qui y sont contenues, leur température doit osciller entre 1800° et 2500°. La hauteur des nuages et des jets colorés est très variable. J'ai eu l'occasion d'étudier avec Secchi, pendant trente-huit jours, un grand nombre de protubérances solaires. La plus élevée que nous ayons observée dépassait les bords du soleil de 12,046 kilomètres, d'après les mesures du célèbre astronome du Collège romain. Elle égalait donc en hauteur à peu près le diamètre de la terre. Au mois d'août de cette année (1890), Fényi a observé, à l'Observatoire Haynald à Kaloesa [1] (Hongrie), deux protubérances gigantesques, très lumineuses, dont la plus élevée avait 306,700 kilomètres de hauteur, c'est-à-dire *vingt-deux fois et demi* environ le diamètre de la terre, ou 61,340 lieues de 5 kilomètres. La distance entre la terre et le soleil étant de 152 millions de kilomètres, nous restons donc séparés de 151,693,300 kilomètres des protubérances les plus élevées observées, ce qui doit nous rassurer. Fényi, dans la description qu'il donne de ces protubérances, dit que certaines parties du nuage et des jets étaient pâles, quoique très lumineuses. En admettant 1800° de chaleur pour les parties les plus élevées des nuages, on doit en conclure qu'à cette hauteur l'intensité calorifique des radiations solaires atteignait ce degré. Quelle peut être l'intensité des radiations calorifiques, ou la température, à la surface du soleil même? Plus loin j'essayerai de donner une idée de la nature des radiations solaires à la surface de la terre, nature qui est beaucoup plus complexe qu'on ne se le figure.

La nature gazeuse et vaporeuse de la chromosphère et des protubérances

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CXI (20 octobre 1890), p. 564, Paris.

Digitized by Google

solaires a été reconnue avec certitude lors de l'éclipse totale de 1868. Les observations de Rayet, de Janssen, de Lockyer, de Herschel, de Tennant, etc., ne laissent aucun doute à cet égard, malgré quelques erreurs commises dans les déterminations de position de quelques raies brillantes. Janssen et Lockyer, en constatant simultanément la possibilité d'observer en plein jour les protubérances solaires, firent la découverte fondamentale que ces protubérances contiennent de l'*hydrogène*. Lockyer découvrit, en outre, que, au delà de la raie *jaune orangé,* indice du sodium, et vers la région verte du spectre, il existe une raie d'un jaune pur, très brillante, appelée *hélium*, qui caractérise les protubérances. L'origine de cette raie jaune reste actuellement inconnue. J'ai été témoin des vains efforts faits par Secchi pour s'assurer si oui ou non il existe une coïncidence de l'hélium avec une des raies du spectre solaire. Jusqu'à l'heure actuelle, cette coïncidence reste à découvrir.

L'apparition des raies de l'hydrogène ayant été reconnue dans le spectre des protubérances, on a attribué à ce gaz la couleur rouge de la chromosphère et de ses proéminences. En effet, l'hydrogène, tel qu'on le prépare habituellement dans les laboratoires, traversé par un courant électrique, notamment dans un tube de Geissler, se colore en pourpre et brûle souvent dans l'air avec une flamme *rougeâtre*. J'ai été dans le cas de devoir me procurer un volume énorme d'hydrogène pour mes recherches spectroscopiques, et j'ai constaté que la substance *inconnue,* qui communique à ce gaz la propriété de brûler dans l'air avec une flamme rougeâtre, constitue une impureté qu'on parvient à lui enlever. Je l'ai déjà dit, un jet d'hydrogène *pur* brûle dans l'air *pur* avec une flamme incolore, obscure. L'introduction de l'oxygène au centre du dard enflammé colore en bleu ou en bleu d'azur l'hydrogène non brûlé. J'ai échoué dans toutes les tentatives que j'ai faites pour obtenir un dard coloré en rouge ou en rouge pourpré, en me servant d'hydrogène pur. Ces faits constatés par moi, il y a plus de dix années, m'empêchent de me ranger à l'opinion généralement reçue, et qui consiste à attribuer à l'hydrogène la couleur des protubérances, et me portent à l'imputer aux vapeurs calciques et strontianiques contenues dans les protubérances et dans la chromosphère, ainsi que je l'ai exposé plus haut.

En 1871 et en 1872, Young soumit la chromosphère, les nuages et les jets qui la surmontent à de longues et minutieuses investigations spectroscopiques.

Digitized by Google

Les résultats de ses observations ont été confirmés par ceux qui se sont livrés en même temps que lui, comme Respighi, soit postérieurement aux mêmes recherches. Ce que l'on sait de plus exact à ce sujet est dû au célèbre astro-physicien américain. Il a reconnu que, *à quelques exceptions près*, les raies chromosphériques ou protubérantielles, qu'elles soient brillantes ou qu'elles soient obscures, car on observe souvent les unes et les autres, notamment sur les *bords lumineux* des taches solaires et dans la chromosphère, correspondent aux raies obscures du spectre solaire proprement dit, tel que l'observation des radiations de cet astre permet de les apercevoir.

Les raies brillantes qui apparaissent par l'analyse prismatique des parties lumineuses (pénombre) des taches et de la chromosphère solaires, n'ont pas toujours la même forme, la même longueur, la même largeur, la même structure que les raies d'émission que l'on observe en répandant un composé métallique volatilisable dans une flamme, dans une étincelle ou dans une décharge électrique. Si le faisceau de rayons émané d'une flamme métallique, par exemple, a une longueur verticale égale à la hauteur de la fente du collimateur, les raies brillantes qu'on aperçoit sont, en général, d'une netteté parfaite de bords, et leur longueur dépasse considérablement celle de la fente. Leur largeur varie avec l'ouverture de celle-ci.

En maintenant constantes la hauteur et la largeur de la fente, l'analyse spectrale de la partie lumineuse des taches et de la chromosphère permet d'observer ou des raies brillantes, présentant les mêmes caractères de longueur, de largeur et de netteté des bords, ou des raies plus ou moins courtes, ou des raies élargies, à bords sombres, ou des raies brillantes et des raies noires à la fois, ou des raies doublement renversées, ou, enfin, des raies partiellement tordues dans le sens de la rotation du soleil ou même tordues partiellement dans deux sens opposés.

Plusieurs de ces faits ont été reconnus en premier lieu par Lockyer; en plus d'une circonstance leur exactitude a été confirmée par Young. Ainsi que je l'ai dit, il y a dix années, à cette même place, Lockyer a attribué ces anomalies spectrales à une dissociation céleste des éléments chimiques qui existe dans le soleil. Fievez, qui a fait une étude approfondie de ces faits, a montré que l'apparition et la disparition de raies courtes, l'élargissement et le renversement des raies, la présence simultanée de raies brillantes et de

Digitized by Google

raies obscures, tiennent exclusivement à une question d'intensité lumineuse. Dans l'arc électrique, on peut à volonté réaliser le double renversement des raies sodiques D_1 et D_2 de Fraunhofer. Je reviendrai plus loin sur ce fait fondamental. Puisqu'il nous est possible de reproduire à volonté ces anomalies spectrales, il n'y a aucune raison de les attribuer à une dissociation céleste des éléments chimiques solaires, dissociation qui présuppose l'existence dans l'astre du jour d'une force inconnue.

Quant à l'existence de raies tordues dans un sens ou dans deux sens opposés, elle est due à une tout autre cause. Ceux qui ont observé les phénomènes qui se passent à la surface solaire ont pu se convaincre qu'il s'y produit des mouvements d'une violence dont il est impossible de se faire une idée et dont la cause nous échappe absolument. Ainsi que je l'ai dit plus haut, outre les nuages *quiescents*, qu'on constate au-dessus de la chromosphère et qui atteignent à des hauteurs prodigieuses, il se forme des jets simples ou multiples, tout aussi élevés que les nuages, et qui présentent les caractères de véritables éruptions gazeuses et vaporeuses. La lumière, cette messagère dont la vélocité n'est comparable qu'à celle de l'électricité, si même elle ne la dépasse pas, nous transmet ces mouvements, souvent opposés les uns aux autres, et nous dit ainsi ce que nous devons penser des anomalies présentées par des raies provenant de pareilles convulsions.

Il me reste à parler de la couronne lumineuse qui surmonte la chromosphère, et dans laquelle s'élèvent les protubérances solaires. L'état de nos connaissances sur la couronne laisse beaucoup à désirer. La raison de cette insuffisance de notions positives est que jusqu'à l'heure actuelle ce phénomène ne peut être observé que lors d'une éclipse solaire totale ; mais dans un lieu donné l'éclipse solaire totale est un événement naturel d'une très grande rareté. Ainsi il n'y a eu qu'une seule éclipse totale à Paris dans tout le XVIII^e siècle, et il n'y en aura pas dans le XIX^e siècle. Pendant 575 ans, on n'en a pas observé une seule à Londres.

L'observation de ce phénomène exige presque toujours des expéditions astro-physiques dans un autre hémisphère que le nôtre. Les astronomes chargés de l'observation n'ont à leur disposition qu'un temps très limité, trois minutes en moyenne ; et en recourant à la photographie pour se procurer des témoins infaillibles et incorruptibles des faits que l'œil, aidé du spectroscope,

Digitized by Google

peut constater, ils doivent consacrer vingt secondes, soit le sixième du temps disponible, à l'obtention d'une seule image photographique, et il s'agit de s'en procurer plusieurs pour pouvoir les comparer, les analyser et les discuter. Quoi qu'il en soit de ces difficultés, lorsqu'une éclipse est totale et que les planètes et les étoiles fixes sont visibles comme dans une belle nuit, on voit le soleil éclipsé entouré d'une auréole de lumière connue sous le nom de couronne solaire. Cette couronne est variable de forme dans les diverses éclipses observées, mais elle est toujours constituée de rayons et de nappes de lumière perlée, éblouissante de clarté, assez uniforme aux bords du soleil, mais dont l'éclat va sensiblement en diminuant des bords solaires vers l'extrémité des rayons. La longueur des rayons varie de la moitié jusqu'au delà du triple du diamètre solaire, qui est de 1,400,000 kilomètres. En se servant d'une bonne lunette astronomique, on aperçoit tout près des bords de l'astre éclipsé les protubérances qui envahissent les rayons. La lumière émise par ces protubérances dépasse considérablement en intensité la lumière perlée coronale.

L'examen microscopique, auquel j'ai soumis les originaux des épreuves photographiques prises par Warren de la Rue et par Secchi en 1860, m'a convaincu qu'il existe parfois des solutions de continuité dans la chromosphère et que ces solutions de continuité sont traversées par des rayons divergents, discontinus, qui semblent émanés directement des bords solaires. Si ces observations sont confirmées, elles tendent à prouver, comme du reste on l'admet généralement aujourd'hui, que l'existence de la couronne est due au soleil lui-même.

L'intensité *photographique* de la lumière perlée coronale est très réduite : *vingt secondes* à peu près sont nécessaires pour se procurer une image parfaite, en se servant d'une plaque de la plus extrême sensibilité. Or, les travaux remarquables et si précis de Marey ont démontré que le pouvoir photographique de la lumière solaire est tel, qu'il suffit d'une fraction de seconde assez petite pour ne pas pouvoir être fixée avec *précision,* pour impressionner une plaque d'une sensibilité extrême et fournir une image d'une perfection absolue dans tous ses détails.

On a comparé la lumière coronale à la lumière lunaire. J'ai en ma posses-

Digitized by Google

sion une reproduction, obtenue par M. Colard, d'un bâtiment éclairé par la lune lors d'une belle nuit d'hiver. Il a fallu *six minutes* d'exposition pour se procurer cette négative admirable de finesse et de pureté. Si l'intensité lumineuse et le pouvoir photographique sont une et même chose, ce qui reste à démontrer, il s'ensuivrait que l'intensité lumineuse coronale serait dix-huit fois plus forte que celle de la lumière de la pleine lune par un temps parfaitement serein.

Depuis 1869, à chaque éclipse solaire totale, les astro-physiciens se sont livrés à l'examen spectroscopique de la couronne. Le travail le plus considérable et le plus exact est celui exécuté par le professeur D^r Schuster, à l'occasion des éclipses solaires de 1882 et de 1886 [1]. Les astro-physiciens sont d'accord pour affirmer que l'analyse de la lumière coronale proprement dite fournit un espace spectral illuminé d'un spectre continu, sur lequel se détachent des centaines de raies *brillantes* et parfois de raies *obscures*. Parmi ce nombre considérable de lignes, la position, en longueur d'onde, de 144 raies a pu être fixée avec précision. *Aucune de ces lignes ne correspond aux raies du spectre solaire,* tel que nous le connaissons, sauf *une,* celle observée dans le spectre solaire par Kirchhoff, et inscrite par lui dans son atlas sous le n° 1474. *Les matières élémentaires auxquelles est due l'apparition de toutes les raies coronales nous sont inconnues.*

L'apparition d'un espace spectral illuminé d'un spectre continu est attribuée par le D^r Schuster à l'existence de particules solides dans l'atmosphère coronale. Il est probable que dans les dernières limites de cette atmosphère il existe des particules solides, et il est partant logique d'attribuer à ces solides, devenus lumineux, l'apparition d'un spectre continu; néanmoins il n'est pas nécessaire de recourir à cette double hypothèse pour expliquer la présence d'un spectre continu. En effet, il résulte de mes observations qu'un spectre continu est concomitant d'une forte élévation de température ou d'une forte décharge électrique.

Faye a attribué également le spectre continu, que présente constamment le spectre solaire, à des particules solides qui seraient en suspension dans l'atmosphère solaire.

[1] *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1889, vol. CLXXX, p. 291.

Digitized by Google

D'après ce que je viens de dire, mon observation s'applique à plus forte raison à l'hypothèse de Faye.

Lorsqu'on effectue l'analyse spectrale de la lumière coronale, en visant tangentiellement le bord du soleil, on observe les raies de l'hydrogène et du calcium. La présence de ces raies est due à la lumière chromosphérique ou à la lumière protubérantielle. En effet, on ne retrouve pas ces raies en analysant radialement les rayons coronaux. En terminant ce sujet, je dois répéter qu'en se renfermant dans les observations dont on peut répondre, on doit dire qu'on ne connaît, parmi les matières terrestres, aucun élément auquel on puisse attribuer les raies coronales.

Avant de continuer, je dois dire que dans son magnifique mémoire sur l'éclipse solaire totale du 29 août 1886, le D[r] Schuster se demande, toutefois sans conclure, « si des décharges électriques sont la cause de la luminosité coronale ». Depuis onze années l'expérience m'a convaincu que la lumière solaire peut être attribuée à des décharges électriques disruptives. Les détails dans lesquels je viens d'entrer et les faits qui me restent à exposer n'ont qu'un seul but, celui d'essayer de démontrer que toutes les raies solaires proprement dites sont *exclusivement* celles qu'on observe avec des décharges électriques disruptives, saturées de corps terrestres, et nullement celles qu'on constate dans l'espace spectral des spectres calorifiques, en un mot, que nous sommes éclairés par de la lumière électrique disruptive. Cette réserve faite, je continue mon sujet.

Jusqu'ici je n'ai considéré les spectres qu'au point de vue des raies brillantes ou obscures qu'ils présentent. Mais un faisceau de rayons solaires, électriques, calorifiques, dispersés par un prisme ou diffractés par un réseau, produit un spectre composé d'autres radiations que des radiations lumineuses. Si, à l'aide d'un mécanisme approprié, on fait mouvoir un thermomètre d'une sensibilité extrême, telle qu'une pile thermo-électrique, dans un spectre prismatique, en commençant par le violet, on constate une élévation de température à peine appréciable, mais en avançant dans la direction du jaune, l'élévation devient très manifeste; elle augmente très rapidement jusqu'au rouge extrême et se continue, en dehors du spectre lumineux, à une distance presque égale à celle du violet au rouge.

Digitized by Google

Substituant à la pile thermo-électrique une plaque photographique très sensible, et laissant celle-ci dans l'espace spectral un temps suffisant, on constate que les radiations produisent, à des degrés différents, des réactions *physiques* ou *chimiques,* d'après la *nature* de la couche sensible appliquée sur la plaque. Pour abréger, j'appelle ces actions des réactions photographiques. On aperçoit ces réactions bien au delà du violet. En employant un prisme de spath d'Islande de 60°, on observe que la région ultra-violette, *invisible pour la vue moyenne,* exerce des réactions photographiques sur une étendue à peu près égale à celle de la région lumineuse.

Ainsi, dans le spectre de réfraction, on constate la présence de radiations lumineuses, de radiations calorifiques et de radiations photographiques.

Les radiations calorifiques sont invisibles pour tous les yeux; elles sont absolument obscures. L'astro-physicien Langley a tracé la courbe des intensités calorifiques; il a reconnu ainsi que le maximum de ces intensités est bien en deçà du maximum des intensités lumineuses du spectre.

Les radiations photographiques échappent à la majorité des vues; mais il y a des yeux qui sont affectés par elles. Les yeux privilégiés aperçoivent dans l'espace spectral les radiations émises par les vapeurs métalliques, aussi loin que la photographie est capable de les reproduire. On ne peut donc pas dire que les radiations qui produisent des effets photographiques sont absolument obscures.

Une vapeur incandescente, ou la lumière solaire, analysée à l'aide de spectroscopes munis de prismes de substances différentes, laisse apercevoir des spectres de *formes différentes.* En effet, les distances relatives des raies d'un spectre prismatique dépendent de la *loi de dispersion.* Il en résulte nécessairement que la forme de ce spectre doit varier avec la substance constitutive du prisme. La distribution des radiations lumineuses, calorifiques et photographiques doit donc être différente. Le spectroscopiste, s'il veut avoir recours à l'analyse prismatique, est donc obligé de se servir d'instruments qui, d'après les nécessités auxquelles il a à satisfaire, dilatent soit la région rouge, soit la région bleue et violette. Le quartz et le spath d'Islande remplissent ces conditions.

La loi de dispersion, fait physique fatal, a forcé les physiciens à substi-

Digitized by Google

tuer un réseau au prisme. Dans le spectre du réseau ou de diffraction, *la distance des raies est proportionnelle à la différence de leur longueur d'onde.* On réalise ainsi une échelle *uniforme*, constamment en relation avec la nature physique des vibrations. Si l'on compare la distribution des *raies obscures solaires* du spectre du réseau, dit spectre *type* ou *normal*, on voit combien les raies du spectre normal sont plus écartées dans le rouge, plus resserrées dans le violet et l'ultra-violet. Dans le spectre normal solaire, le maximum des intensités lumineuses se trouve à une égale distance de D et E, et le maximum des intensités calorifiques est situé entre B et C de Fraunhofer. Le pouvoir absorbant de l'atmosphère rend, du reste, fort incertaine la position du maximum des intensités calorifiques du spectre normal solaire, ainsi que cela résulte des travaux de Langley et de Mouton.

L'état de nos connaissances sur l'étendue et le maximum d'intensité des radiations lumineuses, calorifiques et photographiques du spectre calorifique de diffraction laisse trop à désirer pour pouvoir en déduire la cause de la différence constatée entre certains spectres calorifiques et certains spectres électriques de diffraction et de réfraction. La seule conséquence qu'on peut tirer des faits observés, c'est que l'intensité lumineuse des radiations calorifiques est moindre que celle des radiations électriques, comme l'intensité lumineuse de celles-ci est moindre que l'intensité lumineuse solaire. L'iridium, chauffé à son point de fusion, placé entre l'œil et un fort arc électrique, se voit en noir sur celui-ci, absolument comme la lumière électrique, placée entre l'œil et la surface solaire, fait l'effet d'un point noir sur le disque. *La lumière solaire est le rayonnement le plus intense connu.*

Le long exposé qui précède a pour but de rendre intelligibles les faits qu'il me reste à faire connaître, et à justifier les conséquences que je crois pouvoir en déduire. Je vais essayer de prouver, en prenant le sodium pour exemple, que le spectre calorifique de certains corps est différent du spectre électrique de ces mêmes corps, et, de plus, lorsqu'il y a coïncidence des raies spectrales terrestres avec les raies obscures du spectre solaire, que cette coïncidence a lieu pour le spectre électrique des corps et non pas pour les raies du spectre calorifique; si je parviens, comme je l'espère, à démontrer l'exac-

Digitized by Google

titude de ces faits, la conséquence qui en résulte, c'est que la lumière qui nous éclaire est de nature électrique, et que l'*électricité* est *disruptive,* c'est-à-dire *discontinue dans sa propagation.*

Lorsqu'on procède à l'analyse spectrale d'une flamme ou d'une étincelle brûlant ou jaillissant dans l'air ambiant, le spectre observé présente une raie brillante, jaune orangé, coïncidant avec D du spectre de Fraunhofer. Le célèbre savant bavarois a déjà constaté ce fait. Il est d'une généralité telle, qu'il faut de l'air purifié pour ne pas l'observer. En répandant dans la même flamme ou dans la même étincelle un composé de sodium, n'importe lequel, l'intensité lumineuse et colorante de la raie jaune-orangé D augmente fortement, et aucune autre raie n'apparaît. D'après ce que j'ai exposé ci-dessus, l'apparition de la raie D, qui est double, signifie la présence du sodium dans la flamme et dans l'étincelle. Telle est du moins la conclusion que les illustres créateurs de l'analyse spectrale ont déduite de ces faits. Dans leur mémoire sur l'analyse spectrale, Bunsen et Kirchhoff représentent le spectre sodique par la raie jaune-orangé D, et Kirchhoff, dans son mémorable mémoire sur le spectre solaire et sur les spectres des éléments chimiques, publié en 1861, représente également le sodium par la double raie jaune-orangé D. En effet, l'atlas qui accompagne ce monument ne contient l'indication d'aucune autre raie soit simple, soit double, comme appartenant au sodium. J'ai, du reste, des raisons personnelles pour croire qu'à l'époque de l'exécution de ce mémorable travail Kirchhoff était convaincu que les spectres calorifique et électrique sodiques étaient identiques. A peine le travail de Kirchhoff avait-il paru, que l'astro-physicien anglais W. Huggins, qui s'est illustré par de magnifiques recherches spectroscopiques, trouva que le spectre électrique du sodium et de ses composés est représenté par cinq raies doubles et une raie simple, soit *neuf* raies, en coïncidence avec les raies du spectre solaire [1]. Huggins s'abstient de se prononcer sur le spectre calorifique sodique.

Dans ses recherches sur le spectre normal solaire publiées en 1868, Angström attribue également *neuf* raies au spectre électrique du sodium en

[1] *Philos. Transactions of the Royal Society of London,* vol. CLIV, 1864. « On the spectra of some of the chemical elements by Will. Huggins », pp. 147 et 148.

Digitized by Google

coïncidence avec les raies du spectre solaire; il ne fait aucune mention du spectre calorifique de ce métal. Lecoq de Boisbaudran publia en 1874 un livre classique sur les spectres lumineux; il distingue les spectres calorifiques des spectres électriques des corps, et il représente le spectre calorifique sodique simplement par la double raie D, et le spectre électrique de ce métal par *au moins* six raies doubles.

Le célèbre spectroscopiste ne se prononce pas sur la possibilité de ramener le spectre calorifique sodique à son spectre électrique. L'illustre Bunsen, dans son mémoire publié en 1875 [1], en distinguant les spectres de flamme des spectres électriques, attribue au spectre de flamme et au spectre électrique sodiques une seule et même raie, la double raie D de Fraunhofer. Enfin, le célèbre physicien français, Cornu, découvrit dans la portion ultra-violette une double raie très brillante, en coïncidence avec les raies du spectre normal du soleil. Il assigna à ces raies les longueurs d'onde de 3001.3 et 3000.7.

Tel était l'état de nos connaissances sur les spectres sodiques, lorsque, vers la fin de 1878, M. Lockyer me pria d'instituer des recherches dans le but de m'assurer si les corps dits élémentaires par la généralité des chimistes sont susceptibles d'être dissociés; ainsi que je l'ai dit en commençant ce discours, mes premières investigations portèrent sur le sodium. Dès 1879, j'ai reconnu la différence radicale existant entre le spectre calorifique et le spectre électrique de ce métal et de ses composés, et l'impossibilité absolue de ramener, par *une élévation de température,* le spectre calorifique au spectre électrique sodique.

Je vais essayer d'exposer aussi brièvement que possible les travaux auxquels je me suis livré d'abord au Musée de l'Industrie, avec le concours de feu Rommelaere, ensuite au cabinet spectroscopique de mon ami le professeur Depaire, en collaboration avec lui, enfin, à l'Institut électro-biologique Solvay, à l'Université de Bruxelles.

Le métal sodium qui m'a servi au Musée de l'Industrie est une partie de celui préparé en 1849 par notre confrère Donny, lors de l'exécution de son

[1] *Spectral-analytische Untersuchungen* von R. Bunsen. *Annalen der Physik und Chemie* von Poggendorff. Band CLV, n° 6, Seite 230 und N° 7, Seite 366, 1875.

Digitized by Google

travail sur l'extraction du potassium et du sodium. Il avait été redistillé *deux* fois; les composés sodiques employés ont été une partie de ceux qui ont servi à mes recherches sur les poids atomiques et ceux qui ont été préparés successivement par M. Depaire et par moi. Ce n'est pas ici le lieu de parler des méthodes de préparation auxquelles j'ai eu recours : je puis dire toutefois que tous les composés employés étaient d'une pureté chimique aussi grande que l'état de la science permet de les obtenir. D'ailleurs, dans mon mémoire sur les spectres sodiques, présenté à l'Académie, j'entre à ce sujet dans tous les détails nécessaires.

En introduisant un composé sodique pur dans la flamme bleu foncé d'un brûleur de Bunsen, ou dans la flamme obscure de l'hydrogène pur, émané d'un ajutage de platine percé d'une ouverture d'un demi-millimètre de diamètre, et en analysant ces flammes à l'aide d'un spectroscope Duboscq, muni successivement de *un,* de *trois* et de *cinq* prismes de flint de 60° et de 6 centimètres de hauteur, ou d'un réseau Rutherfurt, on observe l'apparition d'une double raie brillante, d'un jaune orangé, se détachant sur un espace spectral obscur. La distance comprise entre les deux raies est en rapport avec le pouvoir dispersif du spectromètre prismatique ou du spectromètre à réseau. *Chacune de ces deux raies* est en coïncidence exacte avec D_1 et D_2 du spectre solaire.

Si l'on porte un composé sodique pur dans une flamme du gaz de l'éclairage, ou dans la flamme obscure de l'hydrogène pur, émanée d'un ajutage de platine percé, dans laquelle on a fait parvenir, à l'aide d'un mécanisme approprié, de l'oxygène pur en quantité suffisante seulement pour priver la flamme du gaz de l'éclairage de son pouvoir éclairant et la ramener au bleu d'azur (point de fusion du platine), et transformer la flamme obscure de l'hydrogène en une flamme d'un bleu d'azur (point de fusion du platine), en analysant ces flammes sodiques par les spectroscopes prismatiques ou à réseau indiqués ci-dessus, on aperçoit la même double raie brillante, d'un jaune orangé, se détachant cette fois sur un espace spectral *illuminé. Aucune autre raie n'est visible.*

Lorsqu'on fait pénétrer, à l'aide d'un petit barreau d'iridium, fondu et forgé à blanc, terminé en aiguille contournée en crochet, un composé

Digitized by Google

sodique pur, dans le cône interne d'un dard oxy-carbohydrique (oxygène et gaz de l'éclairage) ou dans le cône interne du gaz oxhydrique, portés l'un et l'autre au maximum de température qu'il est possible de produire par une source calorifique (point de fusion de l'iridium), en analysant au point d'immersion ces cônes internes par les spectroscopes prismatiques ou à réseau, on constate l'apparition de la même double raie brillante, d'un jaune orangé, se détachant sur un espace spectral *intensément illuminé*. On ne parvient à voir aucune autre raie, quelle que soit la partie du cône interne considérée et le soin scrupuleux mis à l'inspection de tout l'espace spectral visible. Les difficultés que présente l'examen d'un espace spectral *si fortement illuminé* m'obligent à dire que l'impossibilité d'apercevoir d'autre raie brillante que la double raie D_1 et D_2 ne prouve nullement que dans l'espace spectral il n'existe de raies fines qu'on ne parvient pas à distinguer du spectre continu.

Après avoir exécuté ces recherches, ayant eu à ma disposition un grand spectroscope de Hilger muni de six prismes en spath d'Islande, de 60° et de 6 centimètres de hauteur, et de lentilles en quartz, j'ai repris, avec ce magnifique instrument, l'analyse du spectre calorifique sodique. Muni de ses *six* prismes, le pouvoir dispersif du spectroscope Hilger est au pouvoir dispersif du spectroscope Duboscq, monté avec ses *cinq* prismes, comme *sept* est à *quatre*.

J'ai effectué l'analyse prismatique en disposant successivement sur le spectroscope Hilger *un, deux, trois* et *six* prismes. Pour amener la vapeur du composé sodique à la température la plus élevée possible, j'ai lancé le *cône interne* d'un puissant dard oxhydrique sur le sommet d'un cône en iridium poreux et percé, placé dans une coupelle d'iridium fondu, portée à la température de fusion du platine et complètement remplie du composé sodique à réduire en vapeur incandescente. Je dois cette coupelle d'iridium, la seule qui existe, à l'amitié de M. G. Matthey, de Londres. Je saisis cette occasion pour exprimer ici tous mes sentiments de gratitude à ce savant métallurgiste.

L'exécution de cette recherche a été très difficile et très dangereuse. En versant du chlorure et même du sulfate sodique fondu dans une coupelle d'iridium chauffée au point de fusion du platine, et en lançant ensuite le cône

Digitized by Google

interne d'un puissant dard oxhydrique sur le cône d'iridium mouillé du composé sodique, celui-ci prend, sans qu'on s'en aperçoive, la forme sphéroïdale et, dans ce cas, se soulève brusquement et est projeté au loin à l'état de gouttelettes incandescentes. Pour me mettre, ainsi que ceux qui m'assistaient, et les appareils eux-mêmes à l'abri du danger, nous avons été obligés de nous couvrir et de couvrir convenablement le spectroscope. Le résultat de cette recherche pénible a été absolument le même que celui auquel nous sommes arrivés précédemment, c'est-à-dire on n'est parvenu qu'à apercevoir la double raie jaune orangé brillante D_1 et D_2 du sodium.

L'illumination de l'espace spectral a été très intense et a diminué en raison du nombre de prismes utilisés à l'analyse. En employant les six prismes, la diminution de l'intensité lumineuse de l'espace spectral a été suffisante pour pouvoir affirmer qu'à la température de fusion de l'iridium, l'analyse prismatique de la vapeur du chlorure et du sulfate sodiques ne laisse apercevoir que la double raie D_1 et D_2 de Fraunhofer.

Lors de la revision de mes recherches spectroscopiques en collaboration avec mon ami Depaire, nous avons repris l'examen du spectre calorifique sodique en nous servant de plusieurs autres spectroscopes et, notamment, d'un spectromètre muni de deux prismes et lentilles de quartz, et les résultats de nos investigations communes ont été identiques à ceux que je viens de faire connaître.

Sur le désir exprimé par moi, feu notre confrère Fievez, peu de temps avant de succomber au mal qui le minait, a essayé de faire apparaître les raies électriques sodiques, et notamment une de ses raies vertes, en analysant à l'aide de spectroscopes de l'Observatoire le dard oxhydrique sodique. Il a échoué dans sa tentative. Le 9 octobre 1889, peu de semaines avant son décès, il m'écrivait : « *Ainsi que vous l'aviez prévu,* ce résultat a été négatif » quant à la présence de la raie verdâtre dans le spectre de flamme oxhy- » drique du sodium, bien que j'aie employé des spectroscopes concen- » trant beaucoup de lumière et donnant des spectres *extra-lumineux.* » Cet aveu a dû lui coûter, car l'idée chez lui dominait le fait, et il admettait en principe l'*identité* des spectres calorifiques et électriques, comme, du reste, beaucoup de spectroscopistes.

Digitized by Google

Ainsi, il est constant, jusqu'à l'heure actuelle, que le spectre calorifique sodique se compose exclusivement de D_1 et D_2 du spectre solaire. Ce spectre calorifique est immutable par les *forces calorifiques* et les *spectromètres* dont nous disposons actuellement.

S'il pouvait rester le moindre doute sur l'exactitude de ces conclusions, les faits qui me restent à exposer sur l'*apparition simultanée* du spectre calorifique et du spectre électrique sodique dans la lumière dite électrique, dont se compose l'arc électrique sodifère, résoudraient ces questions d'une manière péremptoire.

L'étude du spectre électrique du sodium et de ses composés présente des difficultés que je ne puis développer toutes ici; je me bornerai à dire que pour obtenir un spectre électrique sodique complet, il est nécessaire d'avoir recours à de *fortes* décharges disruptives ou à l'arc électrique. Lorsque l'électricité se propage d'une manière pour ainsi dire électrolytique, pour me servir de l'expression d'Angström, comme c'est le cas de la décomposition de l'eau par la pile ou par des machines magnéto-électriques (dynamos), l'électricité se transforme en chaleur et produit exclusivement de la lumière d'*incandescence* dont le spectre est continu, ainsi que je l'ai dit ci-dessus.

Si la décharge disruptive n'est pas suffisamment forte, on obtient un spectre sodique incomplet, et les raies sillonnant l'espace spectral apparaissent non dans l'ordre de *réfrangibilité des rayons,* mais dans l'ordre de l'intensité lumineuse de ceux-ci. Enfin les prismes exercent une forte absorption sur la lumière des décharges disruptives sodiques. Les prismes en quartz éteignent le moins de lumière.

En faisant jaillir sur une solution sodique acidifiée une étincelle non condensée de 2 à 3 millimètres de longueur avec des électrodes d'iridium et, au besoin, de platine, l'analyse prismatique de cette étincelle permet d'apercevoir la double raie D_1 et D_2 à laquelle vient se joindre une seconde double raie dans le vert livide [1].

[1] C'est cette raie que j'avais prié Fievez de reproduire à l'aide de l'analyse de la flamme oxhydrique sodique.

Digitized by Google

En substituant à cette faible étincelle une étincelle plus forte et en opérant dans une atmosphère d'hydrogène, pour empêcher l'apparition des raies atmosphériques, on aperçoit vers l'extrémité du vert une troisième double raie colorée en vert.

Pour faire apparaître le spectre électrique sodique *complet*, j'ai été obligé d'avoir recours à de fortes décharges, produites par le passage du courant d'une batterie de dix éléments de Bunsen, du plus grand modèle, au travers d'une bobine de Rhumkorff, donnant des étincelles de 45 centimètres de longueur, réduite par le rapprochement des électrodes à la distance de *cinq* à *dix* millimètres. La bobine était accouplée avec une batterie formée successivement de *une* jusqu'à *cinq* fort grandes bouteilles de Leyde. La décharge jaillissait, *au sein d'une atmosphère d'hydrogène sec*, entre des électrodes de platine ou de charbon de cornue dont les extrémités polaires étaient entourées, soit de sodium métallique, soit de composés sodiques purs.

Parmi les composés soumis à l'essai, je citerai l'hydroxyde, le chlorure, le bromure, le fluorure, l'azotate, le sulfate et le carbonate sodiques. J'ai effectué les décharges au sein d'une atmosphère d'hydrogène, pour me mettre à l'abri des inévitables raies atmosphériques. J'ai disposé à cet effet les électrodes, à l'aide de bouchons de caoutchouc, dans un cylindre de verre de 3 à 4 centimètres de diamètre sur 10 centimètres de longueur, rempli d'hydrogène sec. L'espace spectral était donc formé de raies sodiques, auxquelles sont venues se joindre les raies de l'hydrogène qui apparaissent dans ces conditions. Je n'ai reconnu que les raies C et F de Fraunhofer, dont naturellement j'ai tenu compte pour le dénombrement des raies appartenant au sodium.

Le cylindre de verre dans lequel les électrodes étaient fixés a été placé alternativement ou verticalement, ou horizontalement, à 5 centimètres du collimateur. L'observation m'a fait reconnaître que la position horizontale donne seule des résultats constants, quand on a soin de faire coïncider l'axe du collimateur avec le milieu de la distance comprise entre les électrodes.

Il existe un temps appréciable entre les décharges qui se succèdent.

Digitized by Google

Pour me mettre à l'abri des fulgurations qui se produisent quelquefois pendant cet intervalle et même pendant les décharges, j'ai été obligé de relier le collimateur, la lunette et le pied des spectroscopes à l'aide de fils métalliques, avec les tuyaux de distribution de l'eau et du gaz de l'éclairage.

L'observation du spectre sodique a toujours été faite simultanément par feu Rommelaere et par moi. Nous disposions à cet effet, chacun, d'un spectroscope absolument identique. J'ai reconnu de cette manière que pour bien juger un spectre, il faut que l'œil, se mouvant dans son orbite, puisse apercevoir, sans déplacer la lunette, toutes les raies qui sillonnent l'espace spectral. Dans l'espace spectral qu'on observe à l'aide d'un spectroscope Steinheil et d'un spectroscope Duboscq, munis chacun d'un prisme de flint de 60° et de six centimètres de hauteur, on aperçoit identiquement les mêmes raies ; l'espace spectral est simplement plus ou moins resserré. Si, sans changer quoi que ce soit aux conditions de la décharge sodique, on ajoute au spectroscope Duboscq successivement deux ou quatre prismes, les raies fines que l'on voit avec un seul prisme sont absolument invisibles lorsque le spectromètre est muni de trois ou de cinq prismes. C'est à tel point qu'en augmentant l'intensité lumineuse de la décharge jusqu'au quintuple du nombre de bouteilles de Leyde interposées, je ne suis pas parvenu à retrouver des raies fines qu'on apercevait aisément lorsque le spectroscope était muni d'un seul prisme et qu'une seule bouteille de Leyde y était jointe. A moins d'avoir pour but de déterminer avec exactitude la position des raies apparues par rapport au spectre solaire, et qu'il ne s'agisse pas de se faire une idée exacte du *facies* du spectre d'un corps donné, il est préférable d'effectuer l'analyse spectrale avec un spectromètre muni d'un seul prisme. Je le répète, dans ce dernier cas on aperçoit des raies fines que l'on ne retrouve plus en augmentant considérablement le pouvoir dispersif de l'analyseur, quelque peu absorbant qu'il soit.

En agissant ainsi, j'ai constaté que le spectre sodique électrique se compose de *six* raies *doubles :* une première dans le rouge orangé; une deuxième dans le jaune orangé, — celle-ci est commune avec le spectre sodique calorifique; une troisième dans le vert livide; une quatrième dans le vert proprement dit; une cinquième dans le bleu verdâtre et une sixième dans le violet

Digitized by Google

extrême. Ainsi que Lecoq de Boisbaudran l'a déjà constaté, il apparaît, en outre, tantôt une, tantôt deux raies fines dans le violet extrême.

Dès que j'ai eu à ma disposition le grand spectroscope de Hilger, muni de ses six prismes de spath d'Islande, je l'ai utilisé pour rechercher si les raies que le grand spectroscope de Duboscq m'avait permis de reconnaître dans le spectre sodique électrique, coïncident exactement avec les raies obscures du spectre solaire. En me servant d'un excellent héliostat de Gambey, parfaitement réglé, et en prenant pour guides, d'une part, les annotations consignées dans l'atlas joint au travail classique d'Angström, publié en 1868, sur le spectre solaire, et, d'autre part, l'*Étude du spectre solaire,* de Fievez, publiée en 1882, et dont j'ai pu reconnaître l'extrême exactitude, j'ai constaté, *avec certitude,* la réalité des coïncidences observées par Angström pour la double raie dans le rouge orangé, dans le jaune orangé, dans le vert livide, dans le vert proprement dit; j'ai reconnu que la raie dans le vert-bleu est également constituée par un *doublet* coïncidant avec deux raies du spectre solaire indiquées par Fievez, quoique Angström la représente dans son atlas par une raie *simple.* J'ai échoué dans les tentatives que j'ai faites avec ce grand spectroscope pour apercevoir la double raie découverte par Cornu dans l'ultra-violet. Malgré sa grande habitude du maniement des spectroscopes et les efforts qu'il a faits pour satisfaire à mon désir, Fievez n'est pas parvenu, non plus, à me faire voir ce doublet avec ce spectromètre muni de six prismes en spath.

J'ai repris, en collaboration avec M. Depaire, les études sur le spectre électrique sodique en nous servant d'autres spectroscopes que ceux utilisés précédemment par moi, et notamment en employant l'excellent spectroscope de Hilger avec deux prismes et lentilles en quartz, le spectroscope monoprisme et biprisme de Duboscq, le nouveau spectroscope à vision directe que Liveing et Dewar ont bien voulu faire construire pour moi par Hilger, enfin le spectroscope de Hilger avec réseau de Chapman.

En opérant ainsi que je l'ai exposé plus haut, nous sommes arrivés exactement aux mêmes résultats que ceux décrits ci-dessus, soit que nous ayons analysé la décharge effectuée dans l'hydrogène entre des électrodes munis de sodium métallique acquis dans le commerce, soit que nous ayons muni

Digitized by Google

les électrodes d'hydroxyde, de chlorure ou de sulfate sodique préparés par nous.

Il me reste à parler du spectre sodique dans la lumière dite électrique. Les phénomènes observés dans cette lumière sont de la plus haute importance pour la solution du problème que je me suis posé. En effet, ils montrent, à la fois, la différence radicale qui existe entre le spectre calorifique et le spectre électrique sodique, et ils disent quelle est la composition de chacun de ces spectres. Pour faire comprendre comment ces phénomènes se présentent, je dois donner quelques notions sur la structure de l'arc voltaïque jaillissant entre des électrodes de charbon, et comment je suis parvenu à me rendre exactement compte de cette structure.

Après des études faites successivement au Musée de l'Industrie, avec le concours de feu Rommelaere, et au cabinet spectroscopique de M. Depaire et en collaboration avec lui, j'ai demandé de pouvoir disposer des magnifiques installations électriques de l'Institut électro-biologique Solvay, à l'Université de Bruxelles.

Avant d'aller plus loin, qu'il me soit permis d'adresser, au nom de la Classe des sciences de l'Académie royale, des félicitations et des remerciements au savant industriel Solvay, pour l'intelligent usage qu'il fait d'une grande fortune acquise par la mise en pratique de ses propres travaux et de ses découvertes scientifiques. Puisse ce noble exemple être suivi par d'autres, auxquels la fortune a souri! L'enseignement, le développement intellectuel et scientifique du pays en profiteront indubitablement.

Je reviens à mon sujet. La structure de ce qu'on appelle la lumière électrique n'a pas la simplicité qu'on lui suppose généralement. Cette lumière se compose des radiations émises par les extrémités polaires, éblouissantes de lumière *blanche,* des radiations bleues de l'arc électrique proprement dit et des radiations de l'enveloppe gazeuse, rose-rouge, qui entourent l'arc, dit fuseau, et qui provient de la combustion du charbon à l'état de vapeur dans le fuseau.

Rossetti [1], le célèbre physicien italien, a trouvé pour l'extrémité polaire

[1] *Sur la température des extrémités polaires des charbons au moment où ils produisent la lumière électrique, et sur la température de l'arc électrique.* Ann. de chimie et de physique, 5e série, t. XVIII, p. 476. Paris, 1879.

Digitized by Google

positive une température maximum de 3900°, pour l'extrémité polaire négative 3150°, et pour l'arc électrique, c'est-à-dire le fuseau, 4800°. On ne connait pas exactement la température de l'enveloppe rose-rouge de l'arc, mais on sait que le platine y entre immédiatement en fusion, et j'ai constaté que l'iridium aggloméré se fond dans la partie rouge du fuseau.

Lors de ses belles *Recherches sur le spectre du carbone dans l'arc électrique en rapport avec le spectre des comètes et le spectre solaire*, Fievez a reconnu que les extrémités polaires de l'arc émettent des radiations qui, à l'analyse spectrale, fournissent un *spectre continu.*

Des observations suffisamment répétées me permettent d'affirmer l'exactitude des constatations de feu notre confrère. L'analyse de l'arc proprement dit donne le spectre électrique du carbone dont Fievez a tracé le premier un diagramme exact pour les bandes jaune, verte et bleue du spectre solaire [1]. L'enveloppe rose-rouge a échappé à l'attention de Fievez. J'ai trouvé que la périphérie rose du fuseau donne un spectre continu. Je dois m'abstenir en ce qui concerne la couche rouge immédiatement en contact avec le fuseau. En projetant cette couche sur la fente du collimateur, on a tantôt un spectre continu et tantôt un faible spectre électrique du carbone, suivant les mouvements du fuseau. Les radiations de la lumière dite électrique sont donc complexes; elles se composent de radiations calorifiques émises par les extrémités polaires et par l'enveloppe rose-rouge du fuseau, et de radiations électriques disruptives, provenant du fuseau qui est coloré en bleu.

J'ai procédé à l'analyse physique de la lumière électrique avec le concours de MM. les professeurs Paul Heger et Léon Gérard. Dans ce but, on a projeté cette lumière, à l'aide d'un objectif Dalmeyer, sur un plan blanc. Ce plan était percé au centre d'une ouverture de 3 millimètres de diamètre, derrière laquelle était placée la fente du collimateur d'un excellent spectroscope préalablement réglé. On a obtenu ainsi sur le plan une image, convenablement agrandie, des extrémités polaires *écartées* et rendues *fixes,* et du fuseau entouré de son enveloppe. On a déplacé successivement l'objectif, tantôt dans le sens vertical, tantôt dans le sens horizontal, pour faire coïncider alterna-

[1] *Mémoires de l'Académie royale de Belgique,* t. XLVII, in-4°, 1885.

Digitized by Google

tivement avec l'ouverture du plan les extrémités polaires positive ou négative, le milieu du fuseau et l'enveloppe rose-rouge qui entoure celui-ci.

Pendant que M. Gérard effectuait lentement les déplacements et constatait ce qui se montrait sur le plan, M. Heger et moi, ayant successivement l'œil devant l'oculaire du spectroscope, nous avons constaté le spectre de l'incandescence du charbon tel qu'on le voit *dans le vide*, c'est-à-dire le spectre continu éblouissant de lumière, ou le spectre électrique du carbone, suivant que des rayons parallèles émanaient des extrémités polaires ou des bords rose-rouge du fuseau, ou émanaient du milieu de fuseau et pénétraient dans le collimateur du spectroscope.

Les observations, répétées à plusieurs reprises et à plusieurs jours d'intervalle, ont conduit aux mêmes résultats. Ayant acquis la certitude de cette constance, tout en maintenant les dispositions des instruments et des appareils, on a introduit dans le fuseau du sulfate sodique pur, en continuant de l'alimenter de ce composé à mesure qu'il se réduisait en vapeur. L'introduction du sel sodique fait pâlir la couleur bleue du fuseau, mais elle reste *bleu d'azur*. L'image de l'enveloppe du fuseau est de couleur orangé foncé, tant que le fuseau contient une notable quantité de sulfate et surtout de chlorure, incomparablement plus volatil que lui.

En répétant les déplacements de l'image des extrémités polaires, du fuseau et de son enveloppe, de manière à amener successivement ces parties devant la fente du collimateur resté en place, j'ai constaté avec certitude que les extrémités polaires positive (3900°) et négative (3150°), *entourées de vapeurs sodiques* du sulfate et du chlorure, émettent des radiations qui, à l'analyse prismatique, laissent apercevoir EXCLUSIVEMENT *une double* raie jaune très brillante, les raies D_1 et D_2 de Fraunhofer, caractéristiques du spectre sodique calorifique.

Il en est absolument de même des radiations orangées de l'enveloppe du fuseau.

Quant au spectre du fuseau, rendu fortement sodique, je l'ai trouvé formé de la juxtaposition des raies fines du spectre électrique du carbone et des *six raies doubles* du spectre de la décharge électrique sodique.

Les raies carbonées qui sillonnent l'espace spectral illuminé ont toutes

Digitized by Google

une teinte propre, qui les distingue facilement des raies électriques sodiques.

M'étant convaincu que M. Gérard est doué d'une vue très perçante, je l'ai prié de contrôler mes observations. Il a reconnu que le spectre sodique des extrémités polaires est le même que celui qu'on voit par l'analyse de la flamme du brûleur de Bunsen, rendu sodique, et qu'après la sélection faite des raies carbonées du fuseau sodique, on arrive à représenter son spectre électrique par *six doubles raies*.

En répétant à plusieurs reprises mes observations dans des conditions variées, j'ai reconnu que le spectre sodique du fuseau n'est *complet* qu'en tant qu'il y ait dans celui-ci une forte quantité de composé sodique, et de préférence le chlorure. A mesure que le fuseau s'appauvrit en sodium, des raies apparues disparaissent. Les apparitions et les disparitions ne se font pas dans l'ordre de réfrangibilité des rayons, mais bien dans l'ordre de leur intensité lumineuse.

Ayant employé à l'Institut Solvay un spectroscope que je n'avais jamais manié, j'ai tenu à contrôler les résultats en répétant les expériences avec les spectroscopes qui avaient servi à M. Depaire et à moi pour la revision de mes recherches spectrales. Nous nous sommes servis pour ce contrôle du spectroscope monoprisme Duboscq, identique à celui de M. Lecoq de Boisbaudran, et d'un spectroscope de Hilger muni d'un excellent réseau Chapman. Nous avons reconnu ainsi, à l'Institut Solvay même, l'exactitude de toutes les observations qui y avaient été faites par MM. Paul Heger, Léon Gérard et par moi. En employant le réseau, nous avons constaté qu'il y a souvent double renversement des raies D_1 et D_2. Ce double renversement, observé déjà par Young avec le spectre de l'arc électrique, m'a semblé concomitant avec les mouvements des extrémités polaires dont on ne peut pas toujours assurer la fixité absolue, et *de la plus ou moins grande quantité de composé sodique introduite dans le fuseau.*

Il est donc établi que le spectre sodique des extrémités polaires d'un arc électrique est représenté uniquement par la *double raie* D_1 *et* D_2 du spectre solaire, et que le spectre sodique du fuseau, c'est-à-dire de l'arc lui-même, est formé de *six raies doubles,* comme le spectre des décharges électriques disruptives sodiques.

Digitized by Google

Les admirables travaux de Kirchhoff, de Bunsen, d'Angström, de W. Huggins, de Thalen, etc., sur les rapports des éléments terrestres avec le spectre solaire ont tous été exécutés en cherchant la coïncidence des raies du spectre électrique disruptif des corps terrestres avec les raies de Fraunhofer. Ces illustres physiciens ont emprunté à cet effet à Vander Willigen sa méthode de production de l'électricité dans laquelle ils ont répandu les corps. Cette méthode ne fournit que des *décharges disruptives ;* toute autre ne saurait remplir le but. On peut donc conclure que toutes les raies du spectre solaire qui coïncident avec les raies terrestres sont également des raies électriques disruptives. Les *six doubles raies* du spectre électrique sodique coïncident toutes avec les raies du spectre solaire. Si les raies sodiques du spectre solaire étaient de *nature calorifique,* au lieu de six doubles raies dont nous constatons l'existence, il ne devrait y avoir qu'*une seule raie double.*

Empruntant à l'immortel Newton, parlant de la gravitation universelle, son expression d'une si grande et si profonde sagesse, je dirai : les choses se passent sur la terre COMME SI la lumière de l'astre du jour était le résultat de décharges disruptives incessantes, c'est-à-dire discontinues et répétées à intervalles infiniment courts, lumière si différente de la lumière d'incandescence que le monde confond avec la véritable lumière électrique.

Je finis ce discours en abandonnant aux physiciens le soin de chercher le moyen de résoudre, par une autre voie, le problème de philosophie naturelle qui s'est présenté à mon esprit comme conséquence de travaux antérieurs et de mes propres recherches.

Digitized by Google

Digitized by Google

SUR

L'ELLIPSE DE BROCARD;

PAR

E. CATALAN,
ASSOCIÉ DE L'ACADÉMIE.

(Présenté, à la Classe des sciences, dans la séance du 11 octobre 1890.)

Digitized by Google

Digitized by Google

3

SUR

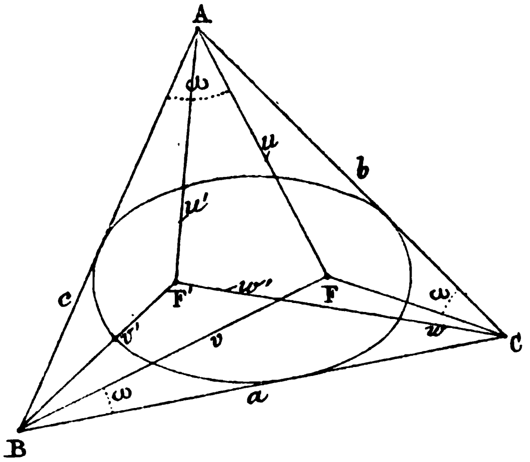
L'ELLIPSE DE BROCARD (*).

I. Préliminaires.

1. *Rappel de formules.* Les foyers F, F′ (fig. 1) de l'ellipse inscrite au triangle ABC, sont, relativement à ce triangle, les *points de Brocard* (**).

Chacun des six angles FAB, FBC, FCA, F′AB, F′BC, F′CA est l'*angle de Brocard*, ω; etc. On a, entre les distances $a, b, c, u, v, w, u', v', w'$ et la quantité auxiliaire λ^2, les équations

Fig. 1.



$$\frac{a^2}{bc} = \frac{w}{u}, \quad \frac{b^2}{ca} = \frac{u}{v}, \quad \frac{c^2}{ab} = \frac{a}{w}, \quad . \quad (1)$$

$$u = \frac{b^2c}{\lambda^2}, \quad v = \frac{c^2a}{\lambda^2}, \quad w = \frac{ba^2}{\lambda^2},$$

$$u' = \frac{bc^2}{\lambda^2}, \quad v' = \frac{ca^2}{\lambda^2}, \quad w' = \frac{ab^2}{\lambda^2}, \quad . \quad (2)$$

$$b^2c^2 + c^2a^2 + a^2b^2 = \lambda^4 \text{ (***)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

(*) Complément à la Note intitulée : *Quelques formules relatives aux triangles rectilignes.* Celle-ci renferme diverses fautes typographiques, indiquées plus loin.

Si x, y, z désignent les distances, aux côtés a, b, c, d'un point quelconque M, ou les *coordonnées normales* de M, l'*ellipse de Brocard* a pour équation

$$\sqrt{\frac{x}{a}} + \sqrt{\frac{y}{b}} + \sqrt{\frac{z}{c}} = 0.$$

(Vigarié, *Congrès de Toulouse.*)

(**) *Quelques formules.....*, p. 28.

(***) *Loc. cit.*, pp. 15 et 12.

Digitized by Google

En outre, le grand axe f, de l'ellipse, est donné par chacune des formules :

$$f = \sqrt[3]{uvw}, \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

$$f = \sqrt[3]{u'v'w'}, \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

$$f = \frac{abc}{\lambda^2} \text{ (*)}. \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

II. Relations algébriques.

2. *Valeurs de* a, b, c. En combinant, deux à deux, les équations (1), on trouve celles-ci :

$$\frac{a^3}{b^3} = \frac{vw}{u^2}, \quad \frac{b^3}{c^3} = \frac{wu}{v^2}, \quad \frac{c^3}{a^3} = \frac{uv}{w^2}; \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

ou, à cause de la formule (4) :

$$\frac{a^3}{b^3} = \frac{f^3}{u^3}, \quad \frac{b^3}{c^3} = \frac{f^3}{v^3}, \quad \frac{c^3}{a^3} = \frac{f^3}{w^3} \text{ (**)} \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

Il résulte, de cette suite de rapports égaux :

$$\frac{a^3}{\left(\frac{w}{u}\right)} = \frac{b^3}{\left(\frac{u}{v}\right)} = \frac{c^3}{\left(\frac{v}{w}\right)} = \theta,$$

ou

$$a^2 = \left(\theta \frac{w}{u}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad b^2 = \left(\theta \frac{u}{v}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad c^2 = \left(\theta \frac{v}{w}\right)^{\frac{2}{3}}; \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

θ étant une inconnue auxiliaire.

Pour en déterminer la valeur, on peut observer que, d'après ces dernières

(*) *Loc. cit.*, p. 28.

(**) Il ne serait pas plus simple, croyons-nous, d'écrire :

$$\frac{a}{b} = \frac{f}{u}, \quad \frac{b}{c} = \frac{f}{v}, \quad \frac{c}{a} = \frac{f}{w}.$$

Digitized by Google

formules, jointes à l'égalité (3), on a

$$\lambda^4 = \theta^{\frac{4}{3}}\left[\left(\frac{w}{v}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{u}{w}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{v}{u}\right)^{\frac{2}{3}}\right].$$

ou

$$\lambda^4 = \frac{\theta^{\frac{4}{3}}}{(uvw)^{\frac{2}{3}}}\left[v^{\frac{4}{3}}w^{\frac{2}{3}} + w^{\frac{4}{3}}u^{\frac{2}{3}} + u^{\frac{4}{3}}v^{\frac{2}{3}}\right].$$

Mais

$$\lambda^4 = \frac{a^2b^2c^2}{(uvw)^{\frac{2}{3}}} = \frac{\theta^2}{(uvw)^{\frac{2}{3}}};$$

donc si l'on fait, pour abréger,

$$P = v^{\frac{4}{3}}w^{\frac{2}{3}} + w^{\frac{4}{3}}u^{\frac{2}{3}} + u^{\frac{4}{3}}v^{\frac{2}{3}}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

on aura

$$\theta = P^{\frac{3}{2}}, \quad a^2 = \left(\frac{w}{u}\right)^{\frac{2}{3}}P, \quad b^2 = \left(\frac{u}{v}\right)^{\frac{2}{3}}P, \quad c^2 = \left(\frac{v}{w}\right)^{\frac{2}{3}}P; \quad \ldots \quad (11)$$

puis

$$\lambda^2 = \frac{P^{\frac{3}{2}}}{f}\,(^*). \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

3. *Autres équations.* Des formules (2), on tire :

$$\frac{a^2}{bc} = \frac{v'}{u'}, \quad \frac{b^2}{ca} = \frac{w'}{v'}, \quad \frac{c^2}{ab} = \frac{u'}{v'}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

On satisfait à ces équations en supposant

$$\frac{a^3}{\left(\frac{v'}{u'}\right)} = \frac{b^3}{\left(\frac{w'}{v'}\right)} = \frac{c^3}{\left(\frac{u'}{w'}\right)} = \theta'; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

θ′ étant une nouvelle inconnue auxiliaire.

Un calcul semblable à celui qui précède donne :

$$\theta' = Q'^{\frac{3}{2}}, \quad a^2 = \left(\frac{v'}{u'}\right)^{\frac{2}{3}}Q', \quad b^2 = \left(\frac{w'}{v'}\right)^{\frac{2}{3}}Q', \quad c^2 = \left(\frac{u'}{w'}\right)^{\frac{2}{3}}Q', \quad \ldots \quad (15)$$

(*) Cette formule ne diffère pas de la relation (6), car, d'après les valeurs (11), $a^2b^2c^2 = P^3$.

Digitized by Google

en supposant

$$Q' = w'^{\frac{4}{3}}v'^{\frac{2}{3}} + u'^{\frac{4}{3}}w'^{\frac{2}{3}} + v'^{\frac{4}{3}}u'^{\frac{2}{3}} \text{ (*)}. \qquad (16)$$

4. *Expression de* $a^2 + b^2 + c^2$. Par les formules (11) :

$$a^2 + b^2 + c^2 = \left[\left(\frac{v}{w}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{w}{u}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{u}{v}\right)^{\frac{2}{3}}\right]P = \frac{P}{f^2}\left[w^{\frac{4}{3}}v^{\frac{2}{3}} + u^{\frac{4}{3}}w^{\frac{2}{3}} + v^{\frac{4}{3}}u^{\frac{2}{3}}\right].$$

Donc, si l'on fait

$$Q = w^{\frac{4}{3}}v^{\frac{2}{3}} + u^{\frac{4}{3}}w^{\frac{2}{3}} + v^{\frac{4}{3}}u^{\frac{2}{3}} : \qquad (17)$$

$$a^2 + b^2 + c^2 = \frac{PQ}{f^2}. \qquad (18)$$

5. *Remarque.* Afin de simplifier les résultats, posons :

$$u = \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad v = \beta^{\frac{3}{2}}, \quad w = \gamma^{\frac{3}{2}}. \qquad (19)$$

Alors :

$$P = \beta^2\gamma + \gamma^2\alpha + \alpha^2\beta, \qquad (20)$$

$$Q = \beta\gamma^2 + \gamma\alpha^2 + \alpha\beta^2. \qquad (21)$$

On trouve

$$PQ = 3\alpha^2\beta^2\gamma^2 + (\alpha^3 + \beta^3 + \gamma^3)\alpha\beta\gamma + \beta^3\gamma^3 + \gamma^3\alpha^3 + \alpha^3\beta^3. \qquad (22)$$

Par conséquent :

1° *Ce polynôme est le produit de deux polynômes entiers, à coefficients entiers ;*

2° *Si* α, β, γ *sont des nombres entiers, différents de zéro, le nombre*

$$N = 3\alpha^2\beta^2\gamma^2 + (\alpha^3 + \beta^3 + \gamma^3)\alpha\beta\gamma + \beta^3\gamma^3 + \gamma^3\alpha^3 + \alpha^3\beta^3$$

est le produit de deux facteurs entiers, supérieurs à l'unité : N *n'est pas premier.*

(*) On va voir, à l'instant, le motif de cette notation.

Digitized by Google

6. Des formules de M. Chadu (*) :

$$u=\frac{b^2c}{\lambda^2},\quad v=\frac{c^2a}{\lambda^2},\quad w=\frac{a^2b}{\lambda^2},\ \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

$$u'=\frac{bc^2}{\lambda^2},\quad v'=\frac{ca^2}{\lambda^2},\quad w'=\frac{ab^2}{\lambda^2},\ \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

on déduit, par exemple,

$$\frac{u}{u'}=\frac{b}{c}=\left(\frac{u}{v}\right)^{\frac{1}{3}}:\ \left(\frac{v}{w}\right)^{\frac{1}{3}}=\frac{(uw)^{\frac{1}{3}}}{v^{\frac{2}{3}}};$$

ou, à cause de la formule (4) :

$$\frac{u}{u'}=\frac{f}{v};\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (24)$$

puis, par une permutation tournante :

$$\frac{v}{v'}=\frac{f}{w},\quad \frac{w}{w'}=\frac{f}{u}.\ \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (25)$$

Autrement dit :

$$u'=\frac{uv}{f},\quad v'=\frac{vw}{f},\quad w'=\frac{wu}{f}.\ \ldots\ldots\ldots \quad (26)$$

On conclut, de ces valeurs :

$$u'=\frac{f^2}{w},\quad v'=\frac{f^2}{u},\quad w'=\frac{f^2}{v}.\ \ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

7. *Remarques.* — I. *Le grand axe est une quatrième proportionnelle à* u', u, v, *à* v', v, w, *à* w', w, u ; *et une moyenne proportionnelle entre* u *et* v', *entre* v *et* w', *entre* w *et* u'.

II. La proportion $\frac{u}{u'}=\frac{b}{c}$, trouvée ci-dessus, revient à $uc=u'b$. Par conséquent, *les triangles* AFB, AF'C *sont équivalents* (**). De même, BFC, BF'A *sont équivalents ;* CFA, CF'B *sont équivalents.*

(*) *Loc. cit.*, p. 15.
(**) A cause des angles AFB, AF'C, égaux à ω.

Digitized by Google

III. On déduit, des formules (26), (27) :

$$\frac{u}{w}=\frac{u'}{v'}, \quad \frac{v}{u}=\frac{v'}{w'}, \quad \frac{w}{v}=\frac{w'}{u'}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

ou

$$\frac{\mathrm{AF}}{\mathrm{CF}}=\frac{\mathrm{AF'}}{\mathrm{BF'}}, \quad \frac{\mathrm{BF}}{\mathrm{AF}}=\frac{\mathrm{BF'}}{\mathrm{CF'}}, \quad \frac{\mathrm{CF}}{\mathrm{BF}}=\frac{\mathrm{CF'}}{\mathrm{AF'}}. \ldots\ldots\ldots \quad (29)$$

Ces proportions peuvent être résumées ainsi :

Les distances d'un foyer, à deux sommets du triangle ABC, *sont comme les distances de l'autre foyer, au premier sommet et au troisième.*

8. *Relations entre* P, Q, P′, Q′. Écrivons ainsi la formule (10) :

$$\mathrm{P}=\sum u^{\frac{4}{3}}v^{\frac{2}{3}},$$

et reprenons les formules

$$u=\frac{f^2}{v'}, \quad v=\frac{f^2}{w'}, \quad w=\frac{f^2}{u'}. \ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

La substitution donne

$$\mathrm{P}=f^4\sum\frac{1}{v'^{\frac{4}{3}}w'^{\frac{2}{3}}}=\frac{f^4}{(u'v'w')^{\frac{4}{3}}}\sum u'^{\frac{4}{3}}w'^{\frac{2}{3}}=\sum u'^{\frac{4}{3}}w'^{\frac{2}{3}},$$

ou

$$\mathrm{P}=\mathrm{Q'}. \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

On trouve, avec la même facilité,

$$\mathrm{Q}=\mathrm{P'}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

en supposant

$$\mathrm{P'}=v'^{\frac{4}{3}}w'^{\frac{2}{3}}+w'^{\frac{4}{3}}u'^{\frac{2}{3}}+u'^{\frac{4}{3}}v'^{\frac{2}{3}}. \ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

9. *Une équation algébrique*. On a vu que :

$$a^2+b^2+c^2=\frac{\mathrm{PQ}}{f^2}, \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

$$b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2=\lambda^4=\frac{\mathrm{P}^3}{f^2}, \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

$$a^2b^2c^2=\mathrm{P}^3, \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Digitized by Google

Donc *l'équation*

$$X^3 - \frac{PQ}{f^2} X^2 + \frac{P^3}{f^2} X - P^3 = 0, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (33)$$

a pour racines a^2, b^2, c^2.

10. *Suite.* Si l'on fait $X = PZ$, cette équation devient

$$Z^3 - \frac{Q}{f^2} Z^2 + \frac{P}{f^2} Z - 1 = 0. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (34)$$

Celle-ci doit être vérifiée par

$$Z = \left(\frac{w}{u}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{v'}{u'}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad Z = \left(\frac{u}{v}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{w'}{v'}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad Z = \left(\frac{v}{w}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{u'}{w'}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

11. *Autre équation.* Reprenons les formules

$$u' = \frac{uv}{f}, \quad v' = \frac{vw}{f}, \quad w' = \frac{wu}{f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (26)$$

Il en résulte :

$$u' + v' + w' = \frac{vw + wu + uv}{f}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

$$v'w' + w'u' + u'v' = f(u + v + w) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

Et comme

$$u'v'w' = uvw = f^3, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

il s'ensuit que :

L'équation

$$V^3 - \frac{vw + wu + uv}{f} V^2 + f(u + v + w) V - f^3 = 0 \quad \ldots\ldots \quad (37)$$

a pour racines u', v', w'.

12. *Application numérique.* Prenons

$$u = 8, \quad v = 27, \quad w = 64; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

et, par conséquent :

$$u^{\frac{2}{3}} = 4, \quad v^{\frac{2}{3}} = 9, \quad w^{\frac{2}{3}} = 16,$$

$$u^{\frac{4}{3}} = 16, \quad v^{\frac{4}{3}} = 81, \quad w^{\frac{4}{3}} = 256;$$

Digitized by Google

puis

$$f = 24.$$

Ensuite, par les formules (26) :

$$u' = \frac{216}{24} = 9, \quad v' = \frac{27.64}{24} = 9.8 = 72, \quad w' = \frac{64\ 8}{24} = \frac{64}{3};$$

puis

$$P = 16.9 + 81.16 + 256.4 = 2\,464,$$

$$Q = 16.16 + 81\ \ 4 + 256.9 = 2\,884.$$

Des formules (11), on conclut :

$$a^2 = 4.2\,464 = 9\,856, \quad b^2 = \frac{4}{9}.2464 = \frac{9\,856}{9}, \quad c^2 = \frac{9}{16}.2464 = 1\,386.$$

Les équations (33), (34) sont donc :

$$X^3 - \frac{2464.2884}{576} X^2 + \frac{2464^3}{576} X - 2464^3 = 0,$$

$$Z^3 - \frac{2\,884}{576} Z^2 + \frac{2464}{576} Z - 1 = 0.$$

Celle-ci est réductible à

$$Z^3 - \frac{721}{144} Z^2 + \frac{77}{18} Z - 1 = 0.$$

D'ailleurs,

$$\left(\frac{w}{u}\right)^{\frac{2}{3}} = 4 = \left(\frac{v'}{u'}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad \left(\frac{u}{v}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{4}{9} = \left(\frac{w'}{v'}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad \left(\frac{v}{w}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{4} = \left(\frac{u'}{w'}\right)^{\frac{2}{3}};$$

et, si l'on remplace Z par 4, on trouve

$$64 - \frac{721}{9} + \frac{154}{9} - 1 = 0;$$

ce qui est exact. Etc.

Digitized by Google

13. *Suite.* Avec les données précédentes, l'équation (37) devient

$$V^3 - \frac{307}{3}V^2 + 2\,376\,V - 13\,824 = 0.$$

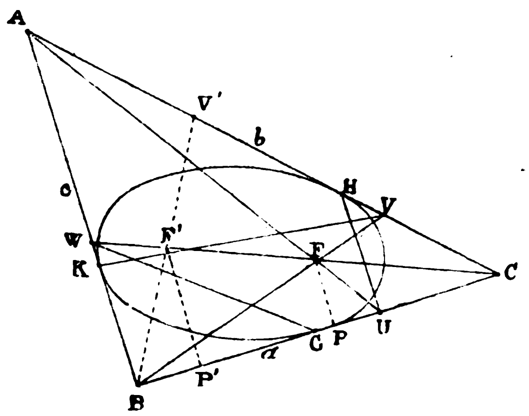
On vérifie aisément que :

$$V = 9 = u', \quad V = 72 = v', \quad V = \frac{64}{3} = w'.$$

III. Points et droites remarquables.

14. *Points de contact.* Soient G, H, K les points où les côtés du triangle ABC touchent l'*ellipse de Brocard* (*); soient U, V, W les intersections de ces côtés avec les rayons AF, BF, CF, prolongés. On a les relations connues :

Fig. 2.



$$\frac{BU}{CU} = \frac{c^2}{a^2}, \quad \frac{CV}{AV} = \frac{a^2}{b^2}, \quad \frac{AW}{BW} = \frac{b^2}{c^2} \text{ (**)}. \quad (39)$$

Cherchons à évaluer le rapport des segments BG, CG.

P, P' étant les projections, sur le côté BC, des foyers F, F', il est visible que :

$$BP = v\cos\omega, \qquad CP' = w'\cos\omega,$$
$$FP = v\sin\omega, \qquad F'P' = w'\sin\omega;$$

donc

$$P'P = v\cos\omega - (a - w'\cos\omega) = (v + w')\cos\omega - a.$$

(*) L'équation de cette courbe, en coordonnées *normales*, est :

$$\sqrt{\frac{x}{a}} + \sqrt{\frac{y}{b}} + \sqrt{\frac{z}{c}} = 0,$$

x, y, z sont les *distances d'un point* M *aux côtés* a, b, c (Vigarié, *Congrès de Toulouse*).

(**) *Loc. cit.*, pp. 22, 21.

Digitized by Google

Par suite,

$$P'G = [(v + w')\cos\omega - a]\frac{w'}{v + w'} \text{ (*)};$$

$$BG = a - w'\cos\omega + [(v + w')\cos\omega - a]\frac{w'}{v + w'},$$

ou

$$BG = \frac{v}{v + w'}a. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (40)$$

De même,

$$CG = \frac{w'}{v + w'}a. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (41)$$

Conséquemment,

$$\frac{BG}{CG} = \frac{v}{w'} = \frac{c^2}{b^2} \text{ (**)}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (42)$$

La comparaison avec l'une des formules (39) donne

$$\frac{BG}{CG} = \frac{BW}{AW}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (43)$$

Ainsi, *les côtés* BC, BA *sont partagés, dans le même rapport, par les points* G, W. Autrement dit :

La droite GW *est parallèle au côté* CA. De même, HU *est parallèle au côté* AB ; KV *est parallèle au côté* BC (***).

15. *Suite.* U', V', W' étant les points où les rayons AF', BF', CF' coupent, respectivement, BC, CA, AB :

$$\frac{c^2}{b^2} = \frac{AV'}{CV'} \text{ (IV)}.$$

(*) Le point G partage P'P dans le rapport de F'P' à FP.

(**) *Loc. cit.*, p. 28. Le point G appartient à la *symédiane* issue de A. En outre, *les symédianes* AG, BH, CK *se coupent au point de Lemoine* (D'OCAGNE, *N. A.*, 1883, p. 452).

(***) Plus exactement : *devrait être parallèle.* Les figures 1, 2, 3 sont de simples croquis.

(IV) *Loc. cit.*, p. 22.

Digitized by Google

Donc, par les proportions (42):

$$\frac{BG}{CG} = \frac{AV'}{CV'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (44)$$

En résumé : *les droites* GV′, HW′, KU′ *sont, respectivement, parallèles aux côtés* BA, CB, AC.

16. *Droites égales à* f. Soient F'_a, F'_b, F'_c les points symétriques du foyer F′, relativement aux côtés BC, CA, AB. D'après la construction habituelle,

$$FGF'_a = FHF'_b = FKF'_c = f. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (45)$$

Ainsi, *les points* F'_a, F'_b, F'_c *appartiennent à la circonférence décrite du foyer* F *comme centre, avec* f *comme rayon* (*).

17. *Suite.* Prolongeons BF, CF′ (fig. 4) jusqu'à ce que ces droites rencontrent, en B_1, C'_1, la circonférence circonscrite au triangle ABC, puis traçons les cordes CB_1, AB'_1.

L'angle *au centre*, B_1OC, égale $2B_1BC = 2\omega$. Donc

$$CB_1 = 2R \sin \omega.$$

Or :

$$R = \frac{abc}{4T}, \quad \sin \omega = \frac{2T}{\lambda^2} \text{ (**)}.$$

Conséquemment,

$$CB_1 = 2\frac{abc}{4T} \cdot \frac{2T}{\lambda^2},$$

ou

$$CB_1 = f. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (46)$$

(*) Cas particuliers d'une propriété très connue. Rappelons, à ce propos, que *les projections des deux foyers, sur les côtés du triangle* ABC, *sont les sommets d'un hexagone inscrit à une circonférence dont le centre est le milieu de* FF′ (centre de l'*ellipse de Brocard*), *et dont le diamètre égale* f.

(**) *Loc. cit.*, pp. 4 et 12.

Digitized by Google

La même propriété subsiste pour les cordes AC_1, BC'_1, BA_1, CA'_1. On a donc ce théorème :

Si l'on prolonge les rayons vecteurs AF, AF', BF, BF', CF, CF', *jusqu'à ce qu'ils rencontrent, en* A_1, A'_1, B_1, B'_1, C_1, C'_1 *la circonférence circonscrite au triangle* ABC, *puis que l'on trace les cordes* AB'_1, AC_1, BC'_1, BA_1, CA'_1, CB_1, *ces six droites sont égales au grand axe,* f, *de l'ellipse de Brocard* (*).

18. *Segments de* AA_1, BB_1, CC_1. L'angle BB_1C = BAC = A. Donc, par la formule (46), et à cause de $CBB_1 = \omega$:

$$BB_1 = a\cos\omega + f\cos A = a\frac{a^2+b^2+c^2}{2\lambda^2} + \frac{abc}{\lambda^2}\,\frac{b^2+c^2-a^2}{2bc},$$

ou

$$BB_1 = \frac{a(b^2+c^2)}{\lambda^2} = w' + v.$$

Et comme BF = v, il reste

$$B_1F = w' = CF'. \qquad (47)$$

De même, par une permutation tournante :

$$C_1F = u' = AF', \qquad A_1F = v' = BF' \text{ (**)}. \qquad (48)$$

Ainsi : *Les cordes égales* AA_1, BB_1, CC_1 *sont divisées, par les foyers* F, F', *en segments qui sont égaux deux à deux.*

19. *Valeur du petit axe.* Soit g la longueur du petit axe de l'ellipse. On a

$$g^2 = f^2 - \overline{FF'}^2 = \frac{a^2b^2c^2}{\lambda^4} - \frac{a^2b^2c^2}{\lambda^8}(a^4+b^4+c^4-\lambda^4) \text{ (***)},$$

ou

$$g^2 = \frac{a^2b^2c^2}{\lambda^8}[2a^2b^2+2b^2c^2+2c^2a^2-a^4-b^4-c^4] = \frac{16\,a^2b^2c^2}{\lambda^8}T^2;$$

(*) La figure 4 contient, ainsi, *neuf droites remarquables, égales à ce grand axe.*

(**) Cette démonstration, *directe,* est préférable à celle qui se trouve dans la Note citée (p. 17).

(***) *Loc. cit.*, p. 18.

Digitized by Google

donc

$$g = \frac{4abc}{\lambda^4} T ;$$

puis, à cause de la formule (6) :

$$g = \frac{4T}{abc} f^2.$$

et enfin

$$g = \frac{f^2}{R}. \quad \text{. . . . .} \quad (49)$$

Ainsi, *le petit axe de l'ellipse est une troisième proportionnelle au grand axe et au rayon du cercle circonscrit.*

20. *Remarque.* Si, du point B_1, on abaisse B_1P perpendiculaire au diamètre CC', on a

$$f^2 = 2R \cdot CP.$$

Conséquemment, la formule (49) se réduit à

$$\frac{g}{2} = CP, \quad \text{. . . . .} \quad (50)$$

et celle-ci exprime la valeur du demi *petit axe.*

21. *Valeurs des cordes* $A_1A'_1$, $B_1B'_1$, $C_1C'_1$. On a : $AOB'_1 = 2\omega$, $AOC = 2B$; donc $B_1OB'_1 = 2B - 4\omega$; puis

$$B_1B'_1 = 2R \sin (B - 2\omega).$$

D'ailleurs :

$$\sin B = \frac{2T}{ac}, \quad \cos B = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2\lambda^4},$$

$$\cos 2\omega = \frac{a^4 + b^4 + c^4}{2\lambda^4}, \quad \sin 2\omega = \frac{4(a^4 + b^4 + c^4) T}{2\lambda^4} (^*).$$

(*) *Loc. cit.*, p. 12.

Digitized by Google

Par conséquent,

$$\sin(B-2\omega)=\frac{T}{ac\lambda^4}\left[a^4+b^4+c^4-(a^2+c^2+b^2)(a^2+c^2-b^2)\right]=\frac{2T}{ac\lambda^4}(b^4-a^2c^2);$$

puis

$$B_1B_1'=\frac{4RT}{ac\lambda^4}(b^4-a^2c^2);$$

ou, plus simplement,

$$B_1B_1'=\frac{b}{\lambda^4}(b^4-a^2c^2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (51)$$

Une permutation tournante donne ensuite :

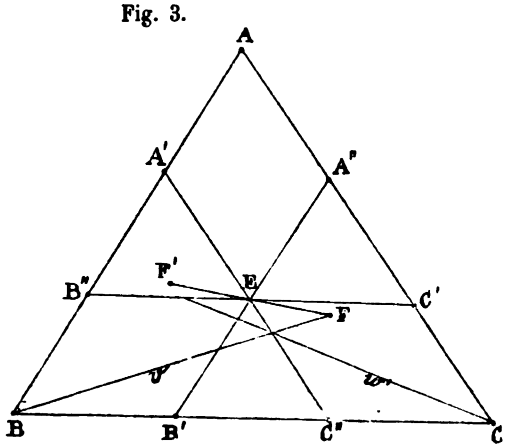
$$C_1C_1'=\frac{c}{\lambda^4}(c^4-b^2a^2), \quad A_1A_1'=\frac{a}{\lambda^4}(a^4-b^2c^2). \quad \ldots\ldots \quad (52)$$

22. *Remarques.* — I. Si, dans la formule (51), on suppose $b^2 \overline{\gtrless} ac$, *les cordes* AB_1', CB_1 *ont un point commun, ou se croisent dans le cercle.*

II. *Si* a = b = c, auquel cas les foyers F, F' coïncident avec le centre O, *la figure* $AB_1'B_1C$ ... *se réduit à un hexagone régulier.*

23. *Construction du centre.* Soit (fig. 3) E le milieu de FF'. Soient α, β, γ les distances de E aux trois côtés. On a

Fig. 3.



$$2\alpha=(v+w')\sin\omega=\frac{b^2+c^2}{\lambda^2}a\sin\omega. \quad (53)$$

Donc

$$\frac{\alpha}{(b^2+c^2)a}=\frac{\beta}{(c^2+a^2)b}=\frac{\gamma}{(a^2+b^2)c}. \quad (54)$$

Soient h, k, l les hauteurs du triangle ABC :

$$h=\frac{2T}{a}, \quad k=\frac{2T}{b}, \quad l=\frac{2T}{c}.$$

Digitized by Google

Les proportions précédentes deviennent

$$\frac{\alpha}{\frac{k}{l}+\frac{l}{k}}=\frac{\beta}{\frac{l}{h}+\frac{h}{l}}=\frac{\gamma}{\frac{h}{k}+\frac{k}{h}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (55)$$

Chacun de ces rapports égale

$$\frac{2T}{\sum a\left(\frac{k}{l}+\frac{l}{k}\right)}=\frac{1}{\sum \frac{1}{h}\left(\frac{k}{l}+\frac{l}{k}\right)}.$$

Par conséquent,

$$2\alpha=\frac{k^2+l^2}{h^2+k^2+l^2},$$

$$h-2\alpha=\frac{h^3}{h^2+k^2+l^2};$$

puis

$$\frac{2\alpha}{h-2\alpha}=\frac{k^2+l^2}{h^2}.$$

Cette proportion détermine une parallèle au côté a, tangente à l'ellipse. De même,

$$\frac{2\beta}{k-2\beta}=\frac{l^2+h^2}{k^2}, \quad \frac{2\gamma}{l-2\gamma}=\frac{h^2+k^2}{l^2}.$$

On construit donc, assez simplement, trois parallélogrammes circonscrits à l'*ellipse de Brocard*.

24. *Remarque.* Si B''C', B'A'', C''A' sont les parallèles aux côtés, passant par le centre E, il existe, entre les segments AA', BB', CC', AA'', BB'', CC'', la relation d'*involution :*

$$AA' \times BB' \times CC' = AA'' \times BB'' \times CC'' \; (*).$$

(*) Cette relation subsiste pour tout point E, *intérieur* à un triangle ABC.

Digitized by Google

Explication de la figure 4.

ABC, triangle inscrit au cercle O.

AA′, BB′, CC′, diamètres.

Les cordes BA′, CA′ rencontrent, en α', α, le diamètre perpendiculaire à BC.

Les cordes CB′, AB′ rencontrent, en β', β, le diamètre perpendiculaire à CA.

Les cordes AC′, BC′ rencontrent, en γ', γ, le diamètre perpendiculaire à AB.

Les arcs BFC, CFA, AFB, décrits des points α, β, γ, comme centres, se coupent en F.

Les arcs BF′C, CF′A, AF′B, décrits des points α', β', γ', comme centres, se coupent en F′.

Les points F, F′, foyers de l'ellipse de Brocard, sont également éloignés du point O (*).

Soient F'_a, F'_b, F'_c les points symétriques de F′, relativement à BC, CA, AB : les droites FF'_a, FF'_b, FF'_c sont trois rayons d'une circonférence ayant son centre en F.

Ces rayons coupent en G, H, K les côtés BC, CA, AB.

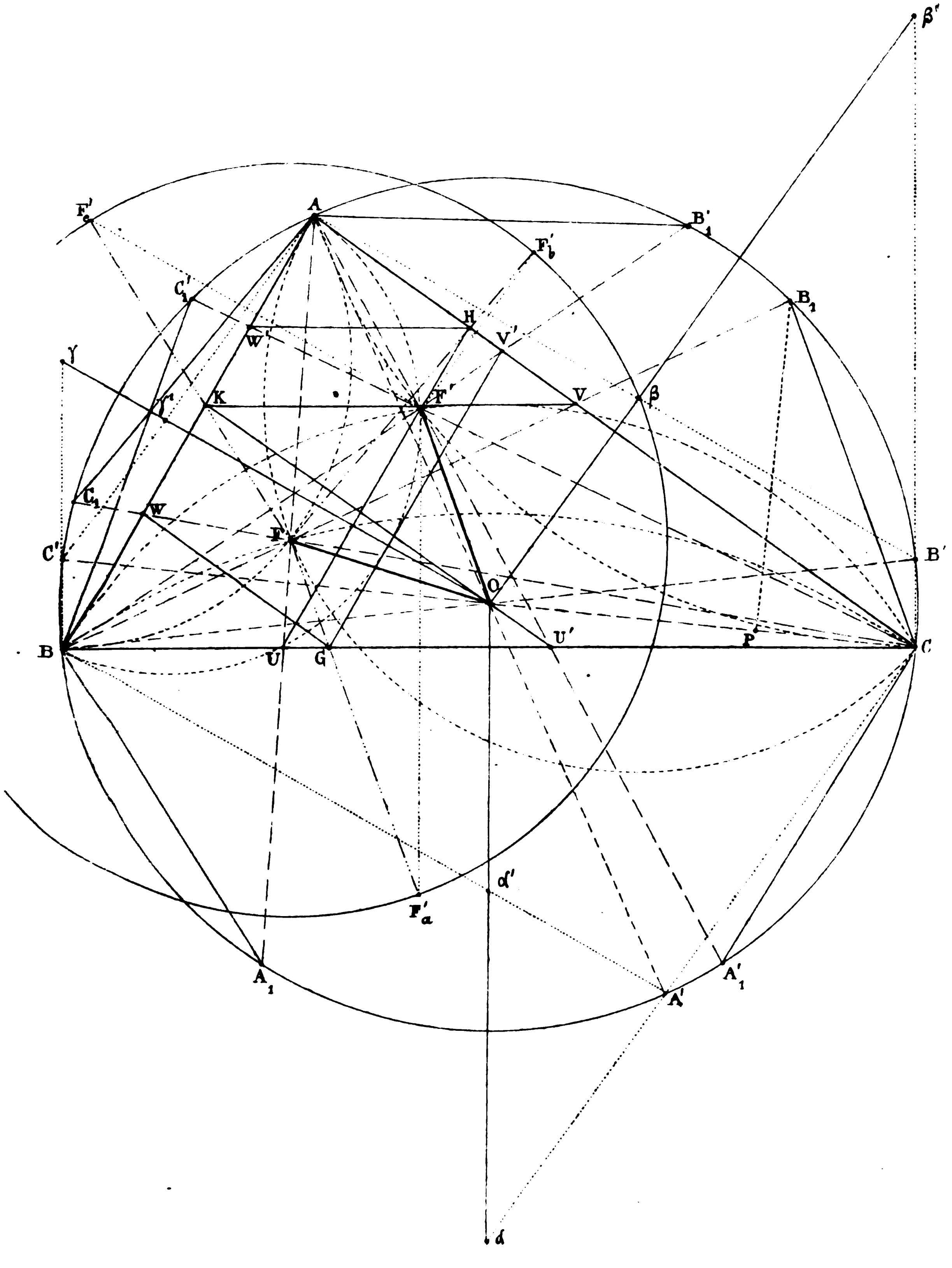
On trace les *six* droites AF, AF′, BF, BF′, CF, CF′. Soient U, U′, V, V′, W, W′ leurs points d'intersection avec les côtés du triangle. On prolonge ces mêmes droites jusqu'à leurs rencontres, en A_1, A'_1, B_1, B'_1, C_1, C'_1, avec la circonférence circonscrite : les cordes AB_1, BC'_1, BA_1, CA'_1, CB_1, AB'_1 sont égales à FF'_a.

On trace, enfin, GW, KU′, HU, GV′, KV, HW′ : ces six droites sont, deux à deux, parallèles aux côtés du triangle ABC.

(*) *Quelques formules relatives . . .*, pp. 11, 16.

Digitized by Google

Fig. 4.



Digitized by Google

ERRATA DE LA PREMIÈRE NOTE.

Page 11, ligne dernière. *Au lieu de* : BΩC, CΩA, ..., *lisez* : CBΩ, ACΩ, BAΩ, BCΩ′, CAΩ′, ABΩ′.

Page 15, ligne 10. *Au lieu de* : $C\Omega - w$, *lisez* : $C\Omega = w$.

Page 15. *Après les équations* (34), *ajoutez* :

On satisfait à ces proportions en prenant :

$$u = \frac{b^2c}{\theta^2}, \quad v = \frac{c^2a}{\theta^2}, \quad w = \frac{a^2b}{\theta^2};$$

θ étant une inconnue auxiliaire.

Mais il est visible que, dans le triangle BΩC :

$$a^2 = v^2 + w^2 + 2vw\cos C\ (^*),$$

ou

$$a^2\theta^4 = c^4a^2 + a^4b^2 + 2a^3bc^2 \cdot \frac{(a^2 + b^2 - c^2)}{2ab},$$

ou

$$\theta^4 = c^4 + a^2b^2 + c^2(a^2 + b^2 - c^2) = \lambda^4.$$

Ainsi :

$$u = \frac{b^2c}{\lambda^2}, \quad v = \frac{c^2a}{\lambda^2}, \quad w = \frac{a^2b}{\lambda^2}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

Page 15, avant-dernière ligne. *Au lieu de* : trilinéaires, *lisez* : tripolaires.

Page 28, ligne 17. *Au lieu de* : $\frac{b^2a}{\lambda^2}\cos\omega$, *lisez* : $\frac{b^2a}{\lambda^2}$, $\cos\omega$.

Spa, août 1890.

(*) A cause de : $B\Omega C = 2^d - C$.

Digitized by Google

SUR LES POLYNÔMES

DE

LEGENDRE, D'HERMITE ET DE POLIGNAC;

PAR

EUGÈNE CATALAN,

ASSOCIÉ DE L'ACADÉMIE.

« A force d'étudier un sujet sous toutes ses faces,
» on finit par en tirer quelque chose. »
(SARRUS, *Recherches sur le Calcul des variations.*)

(Présenté à la Classe des sciences, dans la séance du 7 février 1891.)

Digitized by Google

AVANT-PROPOS.

Le présent Mémoire a été rédigé à l'occasion d'une série de lettres que M. *Hermite* m'a fait l'honneur de m'adresser, il y a quelques mois. Il ne m'appartient pas de rapporter les appréciations du plus illustre des Géomètres français; mais, en me communiquant de nouveaux théorèmes sur les fonctions X_n et P_n, mon excellent *ancien élève* m'engageait à reprendre des recherches auxquelles j'avais complètement renoncé. Je n'ai pas eu la force de résister à des instances très agréables, et je me suis mis à étudier, de nouveau, les polynômes de *Legendre,* d'*Hermite* et de *Polignac.*

Des extraits de ma longue réponse à M. Hermite constituent la *première partie* du Mémoire. Si l'on en prend connaissance, on verra que j'ai cru devoir rectifier, en un point, les beaux théorèmes de M. *Christofel.*

La *deuxième partie* contient des Notes sur divers sujets. La principale est relative à une expression démontrée à la page 4 des *Nouvelles propriétés des fonctions* X_n. Si je ne me trompe, cette nouvelle formule est beaucoup plus simple et plus fertile que celle qui a été donnée par l'illustre Jacobi.

Dans la *troisième partie,* on trouvera la *définition des polynômes de Polignac,* et la démonstration (peut-être incomplète) d'une relation entre ces polynômes et ceux de M. Hermite.

Digitized by Google

Digitized by Google

SUR LES POLYNÔMES

DE

LEGENDRE, D'HERMITE ET DE POLIGNAC.

PREMIÈRE PARTIE.

LETTRE A M. HERMITE.

. . . .

I

Comme je le supposais dans ma dernière lettre, les formules de M. *Christofel* doivent, pour s'appliquer aux vôtres et aux miennes, subir une légère modification.

Considérons le *premier théorème* (*), exprimé par l'égalité

$$P_m X_n - P_n X_m = \sum_{s=0}^{s=m-n-1} \frac{X_s X_{m-n-1-s}}{s+n+1}. \quad \text{(A)}$$

Il donne, en particulier (comme vous me l'avez fait observer),

$$P_m = \frac{X_0 X_{m-1}}{1} + \frac{X_1 X_{m-2}}{2} + \cdots + \frac{X_{m-1} X_0}{m}. \quad \text{(B)}$$

Soit $m = 3$. Alors

$$P_3 = \frac{X_0 X_2}{1} + \frac{X_1 X_1}{2} + \frac{X_2 X_0}{3} = \frac{1}{2}(3x^2 - 1) + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{6}(3x^2 - 1) = \frac{1}{6}(15x^2 - 4);$$

(*) Jusqu'à présent (4 octobre 1890), je n'ai pu le démontrer.

Digitized by Google

et, si l'on prend $x = 1$:

$$(P_3) = \frac{11}{6}\ (^*).$$

Or, dans le petit Mémoire intitulé : *Sur quelques formules d'Analyse,* on lit (p. 19) :

$$P_3 = \frac{1}{3}(15x^2 - 4);$$

d'où résulte

$$(P_3) = \frac{11}{3}.$$

En résumé, dans les théorèmes de M. Christofel, on doit remplacer P_n par $\frac{1}{2} P_n$.

II

Le Mémoire cité contient (p. 15) cette loi de *récurrence :*

$$(n+1)N_{n+1} - (2n+1)xN_n + nN_{n-1} = 0\,;$$

ou, ce qui est équivalent,

$$mP_m - (2m-1)xP_{m-1} + (m-1)P_{m-2} = 0 \qquad \text{(C)}$$

Les valeurs initiales sont (p. 29) :

$$P_1 = 2, \quad P_2 = 3x.$$

D'un autre côté, dans mes *Recherches sur les fonctions* X_n (troisième Mémoire, p. 14), j'ai montré que, si l'on fait

$$\frac{X_0X_{m-1}}{1} + \frac{X_1X_{m-2}}{2} + \dots + \frac{X_{m-1}X_0}{m} = S_{m-1},$$

(*) Je mets des parenthèses, afin d'éviter un changement de lettre.

Digitized by Google

on a

$$mS_{m-1} - (2m-1)xS_{m-2} + (m-1)S_{m-3} = 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (D)\,(*)$$

Le calcul direct donne

$$S_1 = \frac{3}{2}x = \frac{1}{2}P_2; \qquad S_2 = \frac{1}{6}(15x^2 - 4) = \frac{1}{2}P_3;$$

donc, en général,

$$S_{m-1} = \frac{1}{2}P_m,$$

ou

$$P_m = 2\left[\frac{X_0X_{m-1}}{1} + \frac{X_1X_{m-2}}{2} + \cdots + \frac{X_{m-1}X_0}{m}\right]; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (E)$$

ce qui est la formule (B), *corrigée*.

III

Permettez-moi de vous communiquer une conséquence, assez curieuse, du *second théorème :*

$$P_n = 2\left[\frac{2n-1}{1 \cdot n}X_{n-1} + \frac{2n-5}{3(n-1)}X_{n-3} + \frac{2n-9}{5(n-2)}X_{n-5} + \cdots\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (F)$$

Elle consiste en cette propriété de la *série harmonique,* bornée à ses n premiers termes :

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n} = \sum_{k=0} \left[\frac{1}{2k+1} + \frac{1}{n-k}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (G)$$

La limite supérieure des valeurs de k est le plus grand nombre entier contenu dans $\frac{2n-1}{4}$; c'est-à-dire, avec la notation de Legendre, $E\left(\frac{2n-1}{4}\right)$.

(*) Observez ceci : quand j'ai trouvé la relation (C), j'avais oublié la relation (D), qui ne diffère pas de la première. Ces accidents-là m'arrivent souvent.

Digitized by Google

Par exemple,

$$1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\cdots+\frac{1}{10}=2\left[1+\frac{1}{3}+\frac{1}{5}+\frac{1}{7}+\frac{1}{9}\right]-\left[\frac{1}{10}+\frac{1}{9}+\frac{1}{8}+\frac{1}{7}+\frac{1}{6}\right].$$

La démonstration de l'égalité (G) est facile (*).

IV

On a (*Sur quelques formules...*, p. 19) :

$$P_n = X_n\left[2\int\frac{dx}{(x^2-1)X_n^2}+\mathfrak{L}\frac{x+1}{x-1}\right], \quad \ldots \quad \text{(H)(**)}$$

$$P_m = X_m\left[2\int\frac{dx}{(x^2-1)X_m^2}+\mathfrak{L}\frac{x+1}{x-1}\right].$$

Par conséquent,

$$P_mX_n - P_nX_m = 2\int\frac{X_n^2-X_m^2}{(x^2-1)X_m^2X_n^2}dx;$$

ou, à cause de l'égalité (A), *rectifiée :*

$$X_mX_n\int\frac{X_n^2-X_m^2}{(x^2-1)X_m^2X_n^2}dx=\sum_{s=0}^{s=m-n-1}\frac{X_sX_{m-n-1-s}}{s+n+1}. \quad \ldots \quad \text{(K)}$$

Ceci est, à peu près, l'un des résultats que je vous ai communiqués précédemment. Je l'ai vérifié pour $m=3$, $n=1$.

(*) Au moyen de la relation *connue*

$$\lim\left[\frac{1}{n+1}+\frac{1}{n+2}+\cdots+\frac{1}{2n}\right]=\mathfrak{L}.2,$$

on pourrait, peut-être, *utiliser* cette formule (G). Mais il ne faut abuser de rien.

(**) Dans cette expression, le signe $\int$ désigne l'intégrale *immédiate,* sans addition de constante. Par exemple,

$$\int\frac{dx}{(x^2-1)x^2}=\frac{1}{2}\int\frac{dx}{x-1}-\frac{1}{2}\int\frac{dx}{x+1}-\int\frac{dx}{x^2}=\frac{1}{2}\mathfrak{L}\frac{x-1}{x+1}+\frac{1}{x}.$$

Digitized by Google

V

Si $n = m - 1$, (K) devient

$$X_m X_{m-1} \int \frac{X_{m-1}^2 - X_m^2}{(x^2 - 1) X_m^2 X_{m-1}^2} = \frac{1}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(L)}$$

Il résulte, de cette égalité,

$$\frac{X_{m-1}^2 - X_m^2}{x^2 - 1} = -\frac{1}{m}(X_m X_{m-1})';$$

formule connue (*).

VI

Dans le Mémoire *Sur quelques formules d'Analyse,* on lit (p. 21) :

$$\frac{P_n}{X_n} = 2\left[\frac{1}{X_0 X_1} + \frac{1}{2X_1 X_2} + \cdots + \frac{1}{nX_{n-1}X_n}\right].$$

On déduit, de cette égalité,

$$P_m X_n - P_n X_m = 2X_m X_n \left[\frac{1}{(n+1)X_n X_{n+1}} + \cdots + \frac{1}{mX_{m-1}X_m}\right]. \quad \ldots\ldots \quad \text{(M)}$$

Comparant avec l'égalité (A) (rectifiée), on a cette relation, qui me paraît remarquable :

$$X_m X_n \left[\frac{1}{(n+1)X_n X_{n+1}} + \cdots + \frac{1}{mX_{m-1}X_m}\right] = \frac{X_0 X_{m-n-1}}{n+1} + \frac{X_1 X_{m-n-2}}{n+2} + \cdots + \frac{X_{m-n-1}X_n}{m}. \quad \text{(N)}$$

Je l'ai vérifiée pour $m = 5$, $n = 2$. Elle rappelle la comparaison entre le théorème de Gauss et le mien (*Sur quelques formules ....,* p. 5).

(*) *Recherches sur les fonctions* X_n, *premier Mémoire,* p. 35.

Digitized by Google

Si l'on prend $n = 0$, cette égalité (N) se réduit à

$$X_m\left[\frac{1}{X_0X_1}+\frac{1}{2X_1X_2}+\cdots+\frac{1}{mX_{m-1}X_m}\right]=\frac{X_0X_{m-1}}{1}+\frac{X_1X_{m-2}}{2}+\cdots+\frac{X_{m-1}X_m}{m};$$

c'est-à-dire, d'après (E), à

$$P_m = 2X_m\left[\frac{1}{X_0X_1}+\frac{1}{2X_1X_2}+\cdots+\frac{1}{mX_{m-1}X_m}\right] (*). \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (P)$$

. . . .

IX

Je vous remercie de m'avoir communiqué votre savante démonstration de la formule

$$1+\frac{l}{1}\frac{l'}{1}+\frac{l(l-1)}{1.2}\cdot\frac{l'(l'-1)}{1.2}+\cdots=\frac{\Gamma(l+l'+1)}{\Gamma(l+1)\,\Gamma(l'+1)}. \quad . \; . \; . \; . \quad (Q)$$

La mienne, que je crois exacte, est beaucoup plus terre à terre (*Mélanges mathématiques,* tome I, p. 141). L'intégrale définie, dont vous faites usage, est due à Poisson. Je l'ai employée souvent, en la mettant sous la forme

$$\frac{2^{n+1}}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\cos^n\varphi\cos(n-2p)\varphi\, d\varphi = C_{n,p} \; (**).$$

. . . .

X

. . . .

Liège, 4 octobre 1890. E. C.

(*) A cause de $P_0 = 0$, l'égalité (K) donne, tout de suite, ce même résultat.
(**) *Recherches sur les fonctions* X_n, *premier Mémoire,* p. 14.

DEUXIÈME PARTIE.

NOTES DIVERSES.

I

Quelques vérifications.

1. De la formule

$$P_n = X_n\left[2\int\frac{dx}{(x^2-1)X_n^2} + \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}\right], \quad \text{(H) (*)}$$

on déduit

$$X_n\frac{dP_n}{dx} - P_n\frac{dX_n}{dx} = -2\frac{X_n^2-1}{x^2-1} \quad (1)$$

On a :

$$X_2 = \frac{1}{2}(3x^2-1), \qquad X_3 = \frac{1}{2}(5x^3-3x),$$

$$P_2 = 3x, \qquad P_3 = \frac{1}{3}(15x^2-4)\ (**);$$

puis

$$\frac{dX_2}{dx} = 3x, \qquad \frac{dX_3}{dx} = \frac{3}{2}(5x^2-1),$$

$$\frac{dP_2}{dx} = 3, \qquad \frac{dP_3}{dx} = 10x.$$

On doit donc trouver, *identiquement :*

$$\frac{3}{2}(3x^2-1) - 3x\,.\,3x = -2\frac{(3x^2-1)^2-4}{4(x^2-1)},$$

ou

$$(5x^3-3x)10x - (15x^2-4)(5x^2-1) = -\frac{(5x^3-3x)^2-4}{x^2-1}.$$

C'est ce qui a lieu.

(*) *Première partie*, p. 8.
(**) *Sur quelques formules d'Analyse*, pp. 13 et 21.

Digitized by Google

2. La vérification *directe*, de la même formule (H), devient rapidement laborieuse, à mesure que n augmente. Contentons-nous de faire $n = 1$, puis $n = 2$.

1° A cause de $X_1 = x$, on a

$$P_1 = x\left[2\int\frac{dx}{(x^2-1)x^2} + \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}\right].$$

Or, l'intégrale *immédiate* de $\frac{dx}{(x^2-1)x^2}$ est (*)

$$\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{x} = -\frac{1}{2}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} + \frac{1}{x}.$$

Ainsi

$$P_1 = x\frac{2}{x} = 2,$$

valeur connue.

2°

$$P_2 = \frac{3x^2-1}{2}\left[8\int\frac{dx}{(x^2-1)(3x^2-1)^2} + \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}\right].$$

La fraction $\frac{8}{(x^2-1)(3x^2-1)^2}$ est décomposable en

$$-6\frac{3x^2+1}{(3x^2-1)^2} + \frac{2}{x^2-1}.$$

De plus,

$$-6\frac{3x^2+1}{(3x^2-1)^2} = \left[\frac{6x}{3x^2-1}\right]', \quad \frac{2}{x^2-1} = \frac{1}{x-1} - \frac{1}{x+1}.$$

Donc

$$\int\frac{8dx}{(x^2-1)(3x^2-1)^2} = \frac{6x}{3x^2-1} - \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1};$$

puis

$$P_2 = \frac{3x^2-1}{2}\,\frac{6x}{3x^2-1} = 3x;$$

ce qui est exact.

(*) *Première partie*, p. 8.

Digitized by Google

3. Pour $m = 3$, $n = 1$, la relation

$$X_m X_n \int \frac{X_n^2 - X_m^2}{(x^2 - 1)X_m^2 X_n^2} dx = \sum_{s=0}^{s=m-n-1} \frac{X_s X_{m-n-1-s}}{s + n + 1} \quad \ldots\ldots \quad \text{(K) (*)}$$

se réduit à

$$X_3 X_1 \int \frac{X_1^2 - X_3^2}{(x^2 - 1)X_3^2 X_1^2} dx = \frac{1}{2} X_0 X_1 + \frac{1}{3} X_1 X_0 ;$$

c'est-à-dire, à

$$X_3 \int \frac{X_1^2 - X_3^2}{(x^2 - 1)X_3^2 X_1^2} dx = \frac{5}{6} X_0 ;$$

ou encore, à

$$\frac{X_1^2 - X_3^2}{(x^2 - 1)X_1^2} = -\frac{5}{6} \frac{dX_3}{dx}.$$

A cause de :

$$X_1 = x, \qquad X_3 = \frac{1}{2}(5x^3 - 3x), \qquad \frac{dX_3}{dx} = \frac{3}{2}(5x^2 - 1),$$

l'égalité précédente devient

$$\frac{4x^2 - (5x^3 - 3x)^2}{4(x^2 - 1)x^2} = -\frac{5}{4}(5x^2 - 1),$$

puis

$$\frac{-25x^4 + 30x^2 - 5}{x^2 - 1} = -5(5x^2 - 1),$$

ou enfin

$$-5(5x^2 - 1) = -5(5x^2 - 1).$$

II

Polynômes X_n *et* P_n.

4. Lemme I.

$$\frac{dX_{n+1}}{dx} - x\frac{dX_n}{dx} = (n + 1)X_n \quad \ldots\ldots \quad (2)\ (**)$$

5. Lemme II.

$$X_{n+1} - xX_n = \frac{x^2 - 1}{n + 1}\frac{dX_n}{dx} \quad \ldots\ldots \quad (3)\ (***)$$

(*) *Première partie*, p. 8.
(**) *Recherches ....., premier Mémoire*, p. 34.
(***) *Ibid.*, p. 4.

Digitized by Google

6. Théorème I. Pour $x = 1$,

$$(P_n) = 2\left[1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n}\right] \quad \text{(A) (*)}$$

7. *Remarque.* $\frac{1}{2}(P_n)$ *ne peut être un nombre entier, excepté si* $n = 1$. (**)

8. Théorème II. *On a, entre les polynômes* X_n, P_n, *la relation*

$$P_n \frac{dX_n}{dx} - X_n \frac{dP_n}{dx} = 2\frac{X_n^2 - 1}{x^2 - 1} \quad \text{(B) (***)}$$

9. Corollaire. *L'équation*

$$P_n \frac{dX_n}{dx} - X_n \frac{dP_n}{dx} = 0, \quad (4)$$

du degré $2n - 1$, *est réductible à deux équations du degré* $n - 1$.

En effet, le second membre de (B) équivaut à

$$2\frac{X_n - 1}{x^2 - 1}(X_n + 1).$$

Or, si n est *pair*, $X_n - 1$ est divisible par $x^2 - 1$; et, si n est *impair*, $X_n - 1$ est divisible par $x - 1$, tandis que $X_n + 1$ est divisible par $x + 1$.

10. *Application.* Soit $n = 3$. Alors :

$$X_3 = \frac{1}{2}(5x^3 - 3x)\ (\text{IV}),\quad \frac{dX_3}{dx} = \frac{3}{2}(5x^2 - 1),\quad P_3 = \frac{1}{3}(15x^2 - 4)\ (\text{IV}),\quad \frac{dP_3}{dx} = 10x.$$

(*) *Première partie,* formule (E).
(**) *Mélanges mathématiques,* t. III, p. 140.
(***) C'est l'égalité (1), de la page 11. Il nous paraît utile de la resignaler.
(IV) Page 11.

Digitized by Google

L'équation (4) devient, après simplification,

$$(15x^2 - 4)(5x^2 - 1) - 10x(5x^3 - 3x) = 0,$$

ou

$$25x^4 - 5x^2 + 4 = 0,$$

ou enfin

$$(5x^2 - 5x + 2)(5x^2 + 5x + 2) = 0.$$

11. Théorème III. a *étant une constante, supérieure à l'unité,*

$$\int_{-1}^{+1} \frac{dx}{a-x}\left[nX_n + \frac{X_{n+1} - xX_n}{a-x}\right] = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (C)$$

L'intégration par parties donne

$$\int \frac{X_{n+1} - xX_n}{(a-x)^2}\,dx = \frac{X_{n+1} - xX_n}{a-x} - \int \frac{\dfrac{dX_{n+1}}{dx} - X_n - x\dfrac{dX_n}{dx}}{a-x}\,dx.$$

Pour $x = \pm 1$, le binôme $X_{n+1} - xX_n$ s'annule (*). Donc

$$\int_{-1}^{+1} \frac{X_{n+1} - xX_n}{(a-x)^2}\,dx = \int_{-1}^{+1} \frac{X_n + x\dfrac{dX_n}{dx} - \dfrac{dX_{n+1}}{dx}}{a-x}\,dx.$$

Le premier membre de (C) devient

$$\int_{-1}^{+1} \frac{dx}{a-x}\left[(n+1)X_n + x\frac{dX_n}{dx} - \frac{dX_{n+1}}{dx}\right].$$

Or, en vertu du Lemme I, cette intégrale est nulle. C. Q. F. D.

12. Corollaire I. p *étant un nombre entier, on a*

$$n\int_{-1}^{+1} \frac{X_n}{(a-x)^p}\,dx + p\int_{-1}^{+1} \frac{X_{n+1} - xX_n}{(a-x)^{p+1}}\,dx = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

(*) En effet, il est divisible par $x^2 - 1$. (*Premier Mémoire*, p. 6.)

Digitized by Google

L'égalité (C) donne, successivement :

$$n\int_{-1}^{+1}\frac{X_n}{(a-x)^2}dx + 2\int_{-1}^{+1}\frac{X_{n+1}-xX_n}{(a-x)^3}dx = 0,$$

$$n\int_{-1}^{+1}\frac{X_n}{(a-x)^3}dx + 3\int_{-1}^{+1}\frac{X_{n+1}-xX_n}{(a-x)^4}dx = 0,$$

etc.

13. Corollaire II.

$$\int_{-1}^{+1}\frac{dx}{(a-x)^p}\left[(n+p)X_n + p\frac{X_{n+1}-aX_n}{a-x}\right] = 0. \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Si, dans l'égalité (5), on remplace $-x$ par $(a-x)-a$, on trouve l'égalité (6).

14. Lemme III.

$$\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{(x-z)^2} = \frac{2}{x^2-1} \qquad (x>1). \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

15. Théorème IV. *On a, entre les polynômes* P_n, X_n *et* Z_n, *la relation*

$$\frac{dP_n}{dx} = \frac{dX_n}{dx}\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{x-z} - 2\frac{X_n}{x^2-1} + \int_{-1}^{+1}\frac{Z_n dz}{(x-z)^2}. \quad \ldots\ldots \quad (D)$$

De

$$P_n = \int_{-1}^{+1}\frac{X_n - Z_n}{x-z}dz, \quad \ldots\ldots \quad (8)\ (*)$$

(*) *Cours de M. Hermite*, p. 146. Les citations se rapportent à la *première* édition (1882). La *quatrième* vient de paraître. La première contient une grave faute typographique, répétée aux pages 146 et 147. Au lieu de

$$J = \int_{-1}^{+1}X_n\frac{dz}{x-z} - P_n, \quad J = X_n\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} - P_n,$$

on doit lire :

$$\frac{(-1)^n J}{2.4.6\ldots 2n} = \int_{-1}^{+1}X_n\frac{dz}{x-z}, \quad \frac{(-1)^n J}{2.4.6\ldots 2n} = X_n\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} - P_n.$$

Si je signale cette erreur *d'écriture*, c'est parce que, ne l'ayant pas d'abord remarquée, elle m'a conduit à des résultats inexacts, qui m'ont fort embarrassé.

Digitized by Google

on déduit

$$\frac{dP_n}{dx}=\int_{-1}^{+1}\frac{(x-z)\frac{dX_n}{dx}-(X_n-Z_n)}{(x-z)^2}dz=\int_{-1}^{+1}\frac{\frac{dX_n}{dx}dz}{x-z}-X_n\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{(x-z)^2}+\int_{-1}^{+1}\frac{Z_ndz}{(x-z)^2};$$

ou, par le Lemme IV,

$$\frac{dP_n}{dx}=\frac{dX_n}{dx}\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{x-z}-2\frac{X_n}{x^2-1}+\int_{-1}^{+1}\frac{Z_ndz}{(x-z)^2} \quad \ldots\ldots \quad (D)$$

16. Théorème V. *On a, entre les polynômes* X_n *et* P_n, *la relation*

$$\frac{dP_{n+1}}{dx}-x\frac{dP_n}{dx}=(n+1)P_n-\frac{2}{n+1}\frac{dX_n}{dx} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (E)$$

D'après la formule (D),

$$\frac{dP_{n+1}}{dx}=\frac{dX_{n+1}}{dx}\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{x-z}-2\frac{X_{n+1}}{x^2-1}+\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}dz}{(x-z)^2}.$$

Donc

$$\frac{dP_{n+1}}{dx}-x\frac{dP_n}{dx}=\left(\frac{dX_{n+1}}{dx}-x\frac{dX_n}{dx}\right)\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{x-z}-2\frac{X_{n+1}-xX_n}{x^2-1}+\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}-xZ_n}{(x-z)^2}dz. \quad (9)$$

En vertu des Lemmes I et II, le second membre équivaut à

$$(n+1)X_n\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{x-z}-\frac{2}{n+1}\frac{dX_n}{dx}+\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}-xZ_n}{(x-z)^2}dz.$$

En outre,

$$\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}-xZ_n}{(x-z)^2}dz=\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}-(x-z)Z_n-zZ_n}{(x-z)^2}dz=\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}-zZ_n}{(x-z)^2}dz-\int_{-1}^{+1}\frac{Z_ndz}{x-z}.$$

Le même second membre, de l'égalité (9), devient donc

$$(n+1)X_n\int_{-1}^{+1}\frac{dz}{x-z}-\frac{2}{n+1}\frac{dX_n}{dx}+\int_{-1}^{+1}\frac{Z_{n+1}-zZ_n}{(x-z)^2}dz-\int_{-1}^{+1}\frac{Z_n}{x-z}dz.$$

Digitized by Google

Le premier terme égale

$$(n+1)\left[P_n + \int_{-1}^{+1} \frac{Z_n}{x - z} dz\right] \text{ (*)}.$$

Par conséquent,

$$\frac{dP_{n+1}}{dx} - x\frac{dP_n}{dx} = (n+1)P_n - \frac{2}{n+1}\frac{dX_n}{dx} + \int_{-1}^{+1} \frac{dz}{x-z}\left[nZ_n + \frac{Z_{n+1} - zZ_n}{x - z}\right]$$

L'intégrale est nulle (C) (**). Donc enfin

$$\frac{dP_{n+1}}{dx} - x\frac{dP_n}{dx} = (n+1)P_n - \frac{2}{n+1}\frac{dX_n}{dx} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(E)}$$

17. *Application.* Soit $n = 4$. On sait que (***)

$$P_4 = \frac{5}{12}(21x^3 - 11x), \quad P_5 = \frac{1}{60}(945x^4 - 735x^2 + 64), \quad X_4 = \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3);$$

donc

$$\frac{dP_4}{dx} = \frac{5}{12}(63x^2 - 11), \quad \frac{dP_5}{dx} = \frac{1}{2}(126x^3 - 49x), \quad \frac{dX_4}{dx} = \frac{5}{2}(7x^3 - 3x).$$

L'égalité (E) devient, dans ce cas particulier,

$$\frac{1}{2}(126x^3 - 49x) - \frac{5}{12}(63x^3 - 11x) = \frac{25}{12}(21x^3 - 11x) - (7x^3 - 3x),$$

puis

$$6(126x^2 - 49) - 5(63x^2 - 11) = 25(21x^2 - 11) - 12(7x^2 - 3),$$

ou bien

$$(756 - 315)x^2 - (294 - 55) = (525 - 84)x^2 - (275 - 36);$$

etc.

18. Théorème VI. *Deux polynômes d'Hermite, consécutifs, satisfont à la relation*

$$2(n+1)\frac{dP_{n+1}}{dx} = (x^2 - 1)\frac{d^2P_n}{dx^2} + 2(n+2)x\frac{dP_n}{dx} + (n+1)(n+2)P_n \quad \ldots \quad \text{(F)}$$

(*) A cause de la formule (8).

(**) On ne doit pas oublier que Z_n se déduit de X_n, par le changement de x en z.

(***) *Sur quelques formules d'Analyse*, p. 12.

Digitized by Google

Écrivons ainsi l'équation (E) :

$$2(n+1)\frac{dP_{n+1}}{dx} - 2(n+1)x\frac{dP_n}{dx} = 2(n+1)^2P_n - 4.\frac{dX_n}{dx}.$$

On sait que

$$(x^2-1)\frac{d^2P_n}{dx^2} + 2x\frac{dP_n}{dx} = n(n+1)P_n - 4\frac{dX_n}{dx}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)\,(*)$$

Retranchant, on trouve

$$2(n+1)\frac{dP_{n+1}}{dx} - (x^2-1)\frac{d^2P_n}{dx^2} - 2(n+2)x\frac{dP_n}{dx} = (n+1)(n+2)P_n;$$

ce qui ne diffère pas de (F).

19. *Application.* Soit $n = 3$. On doit avoir

$$8\frac{dP_4}{dx} = (x^2-1)\frac{d^2P_3}{dx_2} + 10x\frac{dP_3}{dx} + 20P_3.$$

Mais :

$$P_3 = \frac{1}{3}(15x^2-4), \qquad P_4 = \frac{5}{12}(21x^3-11x)\,(**);$$

donc

$$\frac{dP_3}{dx} = 10x, \quad \frac{d^2P_3}{dx^2} = 10, \quad \frac{dP_4}{dx} = \frac{5}{12}(63x^2-11).$$

L'égalité précédente se réduit à celle-ci :

$$\frac{1}{3}(63x^2-11) = (x^2-1) + 10x^2 + \frac{2}{3}(15x^2-4),$$

laquelle est identique.

20. Lemme V. *On a, identiquement,*

$$-\frac{1}{2}\frac{d\dfrac{x^{2n-2p+2}}{(x^2-1)^n}}{dx} = (n-p+1)\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}} + (p-1)\frac{x^{2n-2p+3}}{(x^2-1)^{n+1}}. \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

(*) *Sur quelques formules* ...., p. 18.
(**) *Ibid.*, p. 12.

Digitized by Google

En effet, le premier membre est

$$-\frac{1}{2}\,\frac{2(x^2-1)^n(n-p+1)x^{2n-2p+1}-2nx^{2n-2p+3}(x^2-1)^{n-1}}{(x^2-1)^{2n}}$$

$$=\frac{nx^{2n-2p+3}-(n-p+1)x^{2n-2p+1}(x^2-1)}{(x^2-1)^{n+1}}=\frac{(p-1)x^{2n-2p+3}+(n-p+1)x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}};$$

etc.

21. Lemme VI. *On a, identiquement,*

$$-\frac{1}{2}\,\frac{d\,\dfrac{C_{n,p-1}x^{2n-2p+2}}{(x^2-1)^n}}{dx}=n\left[C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}+C_{n-1,p-2}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}\right]. \quad . \quad . \quad (12)$$

Après avoir multiplié, par $C_{n,p-1}$, les deux membres de l'égalité (11), on obtient, au lieu du second membre,

$$(n-p+1)\frac{n(n-1)\ldots(n-p+1)}{1.2\ldots\overline{p-1}}\,\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}+(p-1)\frac{n(n-1)\ldots(n-p+1)}{1.2\ldots\overline{p-1}}\,\frac{x^{2n-2p+3}}{(x^2-1)^{n+1}},$$

ou

$$n\frac{(n-1)(n-2)\ldots(n-p+1)}{1.2.3\ldots\overline{p-1}}\,\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}+n\frac{(n-1)(n-2)\ldots(n-p+2)}{1.2\ldots\overline{p-2}}\,\frac{x^{2n-2p+3}}{(x^2-1)^{n+1}},$$

ou

$$n\left[C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}+C_{n-1,p-2}\frac{x^{2n-2p+3}}{(x^2-1)^{n+1}}\right].$$

L'égalité (12) est donc démontrée.

22. *Remarque.* On peut l'écrire ainsi :

$$-\frac{1}{2n}\,\frac{d\cdot\dfrac{C_{n,p-1}x^{2n-2p+2}}{(x^2-1)^n}}{dx}=C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}+C_{n-1,p-2}\frac{x^{2n-2p+3}}{(x^2-1)^{n+1}} \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Digitized by Google

III

Quelques sommations.

23. Théorème VII. *Si* S_p *représente la somme des* p *premiers termes du développement de* $(x^2 - 1)^n$, *savoir :*

$$S_p = x^{2n} - C_{n,1}x^{2n-2} + C_{n,2}x^{2n-4} - \dots \pm C_{n,p-1}x^{2n-2p+2}, \quad \dots \quad (14)$$

on a

$$\frac{1}{2n}\,\frac{d\cdot\dfrac{S_p}{(x^2-1)^n}}{dx} = (-1)^p C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}} \quad \dots \quad (G)$$

Dans l'égalité (13), faisons, successivement, $p = 1$, $p = 2$,... Nous aurons :

$$\left.\begin{aligned}
&-\frac{1}{2n}\,\frac{d\cdot\dfrac{x^{2n}}{(x^2-1)^n}}{dx} = C_{n-1,0}\frac{x^{2n-1}}{(x^2-1)^{n+1}}\ (^*),\\
&\frac{1}{2n}\,\frac{d\,.\,C_{n,1}\dfrac{x^{2n-2}}{(x^2-1)^n}}{dx} = -C_{n-1,1}\frac{x^{2n-3}}{(x^2-1)^{n+1}} - C_{n-1,0}\frac{x^{2n-1}}{(x^2-1)^{n+1}},\\
&-\frac{1}{2n}\,\frac{d\,.\,C_{n,2}\dfrac{x^{2n-4}}{(x^2-1)^n}}{dx} = C_{n-2,2}\frac{x^{2n-5}}{(x^2-1)^{n+1}} + C_{n-1,1}\frac{x^{2n-3}}{(x^2-1)^{n+1}}\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
&\mp\frac{1}{2n}\,\frac{d\cdot\dfrac{C_{n,p-1}x^{2n-2p+2}}{(x^2-1)^n}}{dx} = \pm\left[C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}} + C_{n-1,p-2}\frac{x^{2n-2p+3}}{(x^2-1)^{n+1}}\right]\ (^{**})
\end{aligned}\right\}\ .\ (15)$$

(*) Cette valeur est exacte, bien que la formule (13) semble en défaut pour $p = 1$.
(**) On doit prendre les signes *supérieurs* si p est *impair*.

Digitized by Google

Dans les égalités (15), la somme des premiers membres est

$$\frac{1}{2n}\frac{d\cdot\dfrac{S_p}{(x^2-1)^n}}{dx};$$

la somme des seconds membres est

$$\pm C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^n};$$

conséquemment,

$$\frac{1}{2n}\frac{d\cdot\dfrac{S_p}{(x^2-1)^n}}{dx}=(-1)^p C_{n-1,p-1}\frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}\cdot \quad \ldots\ldots \quad (G)\ (*)$$

24. *Remarque.* Le $(p+1)^{\text{ième}}$ terme de $(x^2-1)^n$, ou $S_{p+1}-S_p$, est

$$(-1)^p C_{n,p} x^{2n-2p}.$$

Si, dans la formule (G), on change p en $p+1$, on obtient, en retranchant,

$$\frac{1}{2n}C_{n,p}\frac{d\cdot\dfrac{x^{2n-2p}}{(x^2-1)^n}}{dz}=-\frac{C_{n-1,p}\,x^{2n-2p-1}+C_{n-1,p-1}\,x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^n};$$

ou, après suppression d'un facteur commun,

$$\frac{d\dfrac{x^{2n-2p}}{(x^2-1)^n}}{dx}=-2\frac{(n-p)x^{2n-2p-1}+px^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n-1}}\cdot \quad \ldots\ldots \quad (16)$$

Cette identité (à peu près évidente) ne diffère pas du Lemme V. Le calcul précédent peut donc être un peu abrégé.

(*) La démonstration précédente est celle que nous avons employée, à propos d'une remarquable formule, due à Poisson, et sur laquelle nous reviendrons plus loin. Dans la *Note* LVIII des *Mélanges mathématiques*, on a imprimé, fautivement, $\frac{t^{m-p}}{(1+t)^{m+p}}$, au lieu de $\frac{t^{m-p}}{(1+t)^{m+1}}$.

Digitized by Google

25. *Application.* Soient, dans la formule (G), $n = 5$, $p = 3$. On doit trouver

$$\frac{1}{10}\frac{d\dfrac{S_3}{(x^2-1)^5}}{dx} = -C_{4,2}\frac{x^5}{(x^2-1)^6}.$$

Or,

$$S_3 = x^{10} - 5x^8 + 10x^6;$$

en sorte que l'égalité à vérifier est

$$\frac{1}{10}\frac{d\cdot\dfrac{x^{10}-5x^8+10x^6}{(x^2-1)^5}}{dx} = -6\frac{x^5}{(x^2-1)^6},$$

ou

$$(x^2-1)(10x^9-40x^7+60x^5) - 10x(x^{10}-5x^8+10x^6) = -60x^5,$$

ou

$$(x^2-1)(x^4-4x^2+6) - (x^6-5x^4+10x^2) = -6;$$

etc.

26. *Expression de* S_p. D'après l'égalité (G),

$$S_p = (-1)^p 2nC_{n-1,p-1}(x^2-1)^n\int_0^x \frac{x^{2n-2p+1}}{(x^2-1)^{n+1}}dx \quad \ldots\ldots \quad (17)$$

27. Théorème VIII. *Si le nombre* q *est impair, et inférieur au nombre pair* 2n, *le produit*

$$(x^2-1)^n\int_0^x \frac{x^q dx}{(x^2-1)^{n+1}}$$

est un polynôme entier, commençant par un terme en x^{2n}, *et finissant par un terme en* x^{q+1}.

Soit, en effet, $q = 2n - 2p + 1$. Le polynôme S_p (17) satisfait aux deux conditions indiquées. En particulier,

$$(x^2-1)^n\int_0^x \frac{x^{2n-1}dx}{(x^2-1)^{n+1}} = -\frac{x^{2n}}{2n} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

Digitized by Google

28. *Remarques*. I. L'intégrale contenue dans la formule (7) est la même chose que

$$\int_0^x \frac{t^{2n-2p+1}}{(t^2-1)^{n+1}}dt.$$

Faisant $t = \alpha x$, on a

$$\int_0^x \frac{t^{2n-2p+1}}{(t^2-1)^{n+1}}dt = x^{2n-2p+2}\int_0^1 \frac{\alpha^{2n-2p+1}}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}}d\alpha;$$

et, par conséquent,

$$S_p = (-1)^p 2n C_{n-1,p-1} x^{2n-2p+2}\int_0^1 \frac{(x^2-1)^n\alpha^{2n-2p+1}}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}}d\alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (19)$$

II. Pour $x = 1$, l'égalité (14) se réduit à

$$S_p = 1 - C_{n,1} + C_{n,2} - \cdots \pm C_{n,p-1}.$$

On sait que la somme *alternée*, formant le second membre, égale $\mp C_{n-1,p-1}$(*). Ainsi, *quand* x *tend vers* 1, *l'intégrale*

$$\int_0^1 \frac{(x^2-1)^n\alpha^{2n-2p+1}}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}}d\alpha$$

tend vers $-\frac{1}{2n}$.

III. Pour cette valeur-limite de x, l'intégrale

$$\int_0^1 \frac{\alpha^{2n-2p+1}}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}}$$

devient

$$\int_0^1 \frac{\alpha^{2n-2p+1}}{(\alpha^2-1)^{n+1}}d\alpha.$$

Le produit de celle-ci, par $(x^2-1)^n$, ou *zéro*, ayant une valeur finie, cette dernière intégrale est *infinie* (**).

(*) Théorème de Genocchi (*Nouvelle Correspondance mathématique*, t. II, p. 141).

(**) On parvient à la même conclusion en posant $\alpha^2 = \theta$. En effet,

$$\int_0^1 \frac{\alpha^{2n-2p+1}}{(\alpha^2-1)^{n+1}}d\alpha = \frac{1}{2}(-1)^{n+1}\int_0^1 \theta^{n-p}(1-\theta)^{-n-1}d\theta = \frac{1}{2}(-1)^{n+1}B(n-p+1,-n);$$

etc.

Digitized by Google

29. *Une intégration.* Soit, conformément au n° 27 :

$$(x^2-1)^n\int_0^x \frac{x^q dx}{(x^2-1)^{n+1}} = a_0x^{2n} + a_2x^{2n-2} + a_4x^{2n-4} + \cdots + a_{2n-q-1}x^{q+1} \quad . \quad . \quad (20)$$

D'après l'équation (17), le second membre doit être identique avec

$$(-1)^p\frac{S_p}{2nC_{n-1,p-1}} = (-1)^p\frac{1}{2nC_{n-1,p-1}}\left[x^{2n} - C_{n,1}x^{2n-2} + C_{n,2}x^{2n-4} - \cdots \pm C_{n,p-1}x^{2n-2p+2}\right],$$

pourvu que l'on prenne

$$p = n - \frac{q-1}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)\ (^*)$$

Ainsi :

$$a_0 = \frac{(-1)^p}{2nC_{n-1,p-1}},\quad a_2 = \frac{(-1)^{p+1}}{2nC_{n-1,p-1}}C_{n,1},\quad a_4 = \frac{(-1)^p}{2nC_{n-1,p-1}}C_{n,2},\quad a_{2n-q-1} = \pm\frac{1}{2nC_{n-1,p-1}}C_{n,p-1} \quad (22)$$

30. *Application.* Soient $n = 10$, $p = 7$. On a

$$a_0x^{20} + a_2x^{18} + a_4x^{16} + a_6x^{14} + a_8x^{12} + a_{10}x^{10} + a_{12}x^8 =$$
$$-\frac{1}{20.84}\left[x^{20} - 10x^{18} + 45x^{16} - 120x^{14} + 210x^{12} - 252x^{10} + 210x^8\right];$$

et, par conséquent :

$$a_0 = -\frac{1}{1680},\quad a_2 = +\frac{10}{1680},\quad a_4 = -\frac{45}{1680},\quad a_6 = +\frac{120}{1680},$$
$$a_8 = -\frac{210}{1680},\quad a_{10} = +\frac{252}{1680},\quad a_{12} = -\frac{210}{1680}.$$

31. *Remarques.* I. Si, dans le second membre de l'égalité (20), on fait $x = 1$, il se réduit à

$$a_0 + a_2 + a_4 + \cdots + a_{2n-q-1}.$$

D'un autre côté, d'après le théorème de Genocchi,

$$1 - C_{n,1} + C_{n,2} - \cdots \pm C_{n,p-1} = (-1)^{p+1}C_{n-1,p-1} \quad (27,\ \text{II})$$

En conséquence,

$$a_0 + a_2 + a_4 + \cdots + a_{2n-q-1} = -\frac{1}{2n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

(*) A cause de $2n - 2p + 2 = q + 1$ (26).

Digitized by Google

II. Cette relation, assez curieuse, donne lieu au petit théorème d'Arithmétique suivant, très facile à vérifier :

a, b *étant des nombres entiers, différents de zéro, la somme alternée*

$$1 - \frac{a}{b+1} + \frac{a(a-1)}{(b+1)(b+2)} - \cdots \pm \frac{a(a-1)\ldots 3.2.1}{(b+1)(b+2)\ldots(b+a)}$$

égale $\frac{b}{a+b}$ (*).

III. Au lieu d'opérer comme nous venons de le faire, on peut partir de l'égalité (20), mise sous la forme

$$\int_0^x \frac{x^q dx}{(x^2-1)^{n+1}} = \frac{a_0 x^{2n} + a_2 x^{2n-2} + \cdots + a_{2n-q-1} x^{q+1}}{(x^2-1)^n} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (24)$$

Prenant alors les dérivées des deux membres, et identifiant, on trouve ce système d'équations du premier degré :

$$\left.\begin{array}{r} a_2 + na_0 = 0, \\ 2a_4 + (n-1)a_2 = 0, \\ 3a_6 + (n-2)a_4 = 0, \\ \cdots\cdots\cdots \\ (q+1)a_{2n-q-1} + 1 = 0. \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (25)$$

On y satisfait par les valeurs (22).

32. *Une formule de Gauss.* Cette formule, dont nous nous sommes plusieurs fois occupé (**), est

$$\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\gamma-\alpha-\beta)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\gamma-\beta)} = 1 + \frac{\beta}{1}\frac{\alpha}{\gamma} + \frac{\beta(\beta+1)}{1.2}\frac{\alpha(\alpha+1)}{\gamma(\gamma+1)} + \cdots \quad . \; . \quad (26)\,(^{***})$$

(*) Si $b = 0$, on a

$$1 - C_{a,1} + C_{a,2} - \cdots \pm C_{a,a} = 0;$$

relation connue.

(**) *Mélanges mathématiques*, t. I, p. 145; *Recherches sur la constante* G, p. 9; etc. Dans ce Mémoire (*Sur la constante* G), les lignes 3, 4, 5, 6, de la p. 13, doivent être *supprimées*.

(***) On suppose $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\gamma > \alpha + \beta$.

Digitized by Google

Pour la démontrer, j'observe que :

$$1 = \frac{\Gamma(\alpha)}{\Gamma(\gamma)}\frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)}, \quad \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(\gamma+1)}\frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)}, \quad \frac{\alpha(\alpha+1)}{\gamma(\gamma+1)} = \frac{\Gamma(\alpha+2)}{\Gamma(\gamma+2)}\frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)}.$$

Donc, S étant la somme de la série (supposée *convergente*) :

$$S = \frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)}\left[\frac{\Gamma(\alpha)}{\Gamma(\gamma)} + \frac{\beta}{1}\frac{\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(\gamma+1)} + \frac{\beta(\beta+1)}{1.2}\frac{\Gamma(\alpha+2)}{\Gamma(\gamma+2)} + \cdots\right];$$

ou, en multipliant et divisant par $\Gamma(\gamma-\alpha)$:

$$S = \frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\gamma-\alpha)}\int_0^1 (1-\theta)^{\gamma-\alpha-1}d\theta\left[\theta^{\alpha-1} + \frac{\beta}{1}\theta^{\alpha} + \cdots\right]$$

$$= \frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\gamma-\alpha)}\int_0^1 (1-\theta)^{\gamma-\alpha-1}d\theta\,.\,\theta^{\alpha-1}(1-\theta)^{-\beta};$$

ou, finalement,

$$S = \frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\gamma-\alpha-\beta)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\gamma-\beta)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

33. *Suite.* Dans le cas le plus général, la série de Gauss est

$$F(\alpha,\beta,\gamma,x) = 1 + \frac{\beta}{1}\frac{\alpha}{\gamma}x + \frac{\beta(\beta+1)}{1.2}\frac{\alpha(\alpha+1)}{\gamma(\gamma+1)}x^2 + \cdots \quad \ldots \quad (28)\ (*)$$

Supposant $x^2 < 1$, on trouve, sans nouveau calcul,

$$F(\alpha,\beta,\gamma,x) = \frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\gamma-\alpha)}\int_0^1 \frac{\theta^{\alpha-1}(1-\theta)^{\gamma-\alpha-1}d\theta}{(1-\theta x)^{\beta}} \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

34. *Une formule de Stirling.* Si, dans la relation (26), on prend $\beta = 1$, elle se réduit à

$$\frac{\gamma-1}{\gamma-\alpha-1} = 1 + \frac{\alpha}{\gamma} + \frac{\alpha(\alpha+1)}{\gamma(\gamma+1)} + \cdots \quad \ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

Cette remarquable formule est due à Sterling (**) :

(*) Bertrand, *Calcul différentiel*, p. 441.

(**) Binet, *Journal de l'École polytechnique*, 37e Cahier, p. 154. Voir, aussi, les *Mélanges mathématiques*, t. I, p. 147.

Digitized by Google

35. *Autre sommation.* Soit

$$F_n(x) = \sum_{p=1}^{p=n} (-1)^p C_{n-1,p-1} \frac{x^{2n-2p+1}}{2n-2p+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

On a

$$\frac{1}{2n-2p+1} = \int_0^1 \alpha^{2n-2p} d\alpha;$$

donc

$$F_n(x) = \int_0^1 d\alpha \sum_1^n (-1)^p C_{n-1,p-1} x^{2n-2p+1} \alpha^{2n-2p} = x \int_0^1 d\alpha \sum_1^n (-1)^p C_{n-1,p-1} (\alpha^2 x^2)^{n-p},$$

ou

$$F_n(x) = -x \int_0^1 (\alpha^2 x^2 - 1)^{n-1} d\alpha; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

puis, si l'on fait $\alpha x = \theta$:

$$F_n(x) = -\int^x (\theta^2 - 1)^{n-1} d\theta,$$

ou enfin

$$F_n(x) = -\int_0^x (x^2 - 1)^{n-1} dx \ (*).$$

IV

Application d'une formule.

36. *Expression de* X_n. Dans les *Nouvelles propriétés des fonctions* X_n (**), nous avons démontré la formule

$$X_n = \frac{2^n}{\pi} \int_0^\pi \sin^n \varphi (x \sin \varphi + \sqrt{-1} \cos \varphi)^n d\varphi, \quad \ldots\ldots \quad (H)$$

que l'on peut écrire ainsi :

$$X_n = \frac{2^n}{\pi} \int_0^\pi \sin^{2n} \varphi (x + g)^n d\varphi, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (K)$$

en posant, pour abréger,

$$g = \sqrt{-1} \cot \varphi \quad \ldots\ldots\ldots \quad (33)$$

(*) On trouve le même résultat en évaluant

$$F'_n(x) = \sum_1^n (-1)^p C_{n-1,p-1} x^{2n-2p}.$$

(**) Page 4.

Digitized by Google

37. *Première application.* De (H) résulte, si $x = 1$:

$$\frac{\pi}{2^n} = \int_0^{\pi} \sin^n \varphi (\sin \varphi + \sqrt{-1} \cos \varphi)^n d\varphi,$$

ou

$$\frac{\pi}{(2\sqrt{-1})^n} = \int_0^{\pi} \sin^n \varphi (\cos \varphi - \sqrt{-1} \sin \varphi)^n d\varphi,$$

ou

$$\frac{\pi}{(2\sqrt{-1})^n} = \int_0^{\pi} \sin^n \varphi (\cos n\varphi - \sqrt{-1} \sin n\varphi) d\varphi; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

puis, si $n = 2n'$:

$$\int_0^{\pi} \sin^{2n'} \varphi \cos 2n'\varphi d\varphi = \frac{\pi}{4^{n'}}(-1)^{n'}, \quad \int_0^{\pi} \sin^{2n'} \varphi \sin 2n'\varphi d\varphi = 0; \quad . \quad . \quad (35)$$

et, si $n = 2n' + 1$:

$$\int_0^{\pi} \sin^{2n'+1} \varphi \cos (2n' + 1)\varphi d\varphi = 0; \quad \int_0^{\pi} \sin^{2n'+1} \varphi \sin (2n' + 1)\varphi d\varphi = \frac{\pi}{2^{2n'+1}}(-1)^{n'}; \quad (36)$$

valeurs connues (*).

38. *Dérivées de* X_n. La relation (K) donne

$$\frac{d^p X_n}{dx^p} = \frac{2^n}{\pi} n(n-1)\ldots(n-p+1) \int_0^{\pi} \sin^{2n} \varphi (x+g)^{n-p} d\varphi; \quad . \quad . \quad . \quad (37)$$

et, en particulier,

$$\frac{d^n X_n}{dx^n} = \frac{2^n}{\pi} \Gamma(n+1) \int_0^{\pi} \sin^{2n} \varphi d\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (38)$$

(*) Voir, par exemple, la *Note* de Serret (*Journal de Liouville*, 1845, p. 13). On peut consulter, aussi, notre *Second Mémoire sur les fonctions* X_n (p. 20).

Digitized by Google

39. *Remarque.* Dans le développement de X_n, le coefficient de x^n est

$$\frac{1}{2^n} C_{2n,n} \text{ (*)}.$$

Donc

$$\frac{d^n X_n}{dx^n} = \frac{1}{2^n} C_{2n,n} \Gamma(n+1);$$

puis, par la formule (43) :

$$\int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi = \frac{\pi}{4^n} C_{2n,n}; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (39)$$

expression connue.

40. *Dérivées de* $(x^2 - 1)^n$ (**). On sait que

$$X_n = \frac{1}{2^n \Gamma(n+1)} \frac{d^n (x^2-1)^n}{dx^n} \text{ (***)};$$

donc, par la comparaison avec (K) :

$$\frac{d^n (x^2-1)^n}{dx^n} = C_n \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi (x+g)^n d\varphi \quad \ldots \ldots \quad \text{(L) (IV)}$$

Afin de simplifier les calculs, donnons à n une valeur particulière, 4, par exemple. Nous aurons

$$\frac{d^4 (x^2-1)^4}{dx^4} = C_4 \int_0^\pi \sin^8\varphi d\varphi (x+g)^4.$$

Soit

$$y = (x+g)^4 = (\overline{x+1} + \overline{g-1})^4$$
$$= (x+1)^4 + 4(x+1)^3(g-1) + 6(x+1)^2(g-1)^2 + 4(x+1)(g-1)^3 + (g-1)^4.$$

(*) *Premier Mémoire*, p. 11.

(**) Sujet déjà traité, en partie, dans les *Nouvelles propriétés*...., pp. 7 et suiv.

(***) Formule de Rodrigues.

(IV) Pour abréger, nous faisons $\frac{2^n \Gamma(n+1)}{\pi} = C_n$.

Digitized by Google

De là résulte

$$\int_{-1}^{x} y\,dx = \frac{(x+1)^5}{5} + (x+1)^4(g-1) + \frac{6}{3}(x+1)^3(g-1)^2 + \frac{4}{2}(x+1)^2(g-1)^3 + (x+1)(g-1)^4,$$

ou

$$\int_{-1}^{x} y\,dx = \frac{1}{5}\left[(x+1)^5 + 5(x+1)^4(g-1) + 10(x+1)^3(g-1)^2 + 10(x+1)^2(g-1)^3 + 5(x+1)(g-1)\right]^4.$$

Par conséquent,

$$\frac{d^3(x^2-1)^4}{dx^3} = \frac{C_4}{5.}\int_0^{\pi} \sin^8\varphi\, d\varphi \Big[(x+1)^5 + 5(x+1)^4(g-1) + 10(x+1)^3(g-1)^2 + 10(x+1)^2(g-1)^3 + 5(x+1)(g-1)^4\Big] \ (*).$$

Le polynôme entre parenthèses est *l'ensemble des cinq premiers termes du développement de* $(\overline{x+1} + \overline{g-1})^5$.

On trouve, de la même manière,

$$\frac{d^2(x^2-1)^4}{dx^2} = \frac{C_4}{5.6}\int_0^{\pi} \sin^8\varphi\, d\varphi . T_6,$$

en posant

$$T_6 = (x+1)^6 + 6(x+1)^5(g-1) + 15(x+1)^4(g-1)^2 + 20(x+1)^3(g-1)^3 + 15(x+1)^2(g-1)^4.$$

Le polynôme T_6, *divisible par* $(x+1)^2$, *est l'ensemble des cinq premiers termes du développement de* $(\overline{x+1} + \overline{g-1})^6$.

Continuant ainsi, on trouve encore :

$$\frac{d(x^2-1)^4}{dx} = \frac{C_4}{5.6.7}\int_0^{\pi} \sin^8\varphi\, d\varphi . T_7, \quad (x^2-1)^4 = \frac{C_4}{5.6.7.8.}\int_0^{\pi} \sin^8\varphi\, d\varphi . T_8.$$

Dans ces deux égalités, T_7 *est l'ensemble des cinq premiers termes du développement de* $(x+g)^7$; T_8 *est l'ensemble des cinq premiers termes du développement de* $(x+g)^8$; ces développements étant ordonnés suivant les puissances décroissantes de $x+1$. De plus, T_7 *est divisible par* $(x+1)^3$, T_8 *est divisible par* $(x+1)^4$.

(*) Les deux membres sont divisibles par $x+1$.

Digitized by Google

Sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage, nous énoncerons la proposition suivante :

41. Théorème IX. *Si l'on désigne par* T_{2n} *l'ensemble des* n + 1 *premiers termes du développement de* $(\overline{x+1}+\overline{g-1})^{2n}$, *on a*

$$(x^2-1)^n = \frac{4^n}{\pi C_{2n,n}} \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi . T_{2n} \ldots \ldots \quad (M) \ (*)$$

42. Corollaire.

$$(x-1)^n = \frac{4^n}{\pi C_{2n,n}} \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi U_{2n}, \ldots \ldots \quad (40)$$

U_{2n} représentant le quotient de T_{2n} par $(x+1)^n$. Ce quotient est un *polynôme entier*.

43. *Remarques.* I. On a

$$T_{2n} = (x+1)^{2n} + C_{2n,1}(x+1)^{2n-1}(g-1) + \cdots + C_{2n,n}(x+1)^n(g-1)^n, \ldots \quad (41)$$

$$U_{2n} = (x+1)^n + C_{2n,1}(x+1)^{n-1}(g-1) + \cdots + C_{2n,n}(g-1)^n \ldots \ldots \quad (42)$$

Donc, si $x = -1$,

$$U_{2n} = C_{2n,n}(g-1)^n;$$

et, par la relation (40),

$$(-2)^n = \frac{4^n}{\pi} \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi (g-1)^n,$$

ou

$$\int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi (1-g)^n = \frac{\pi}{2^n} \ldots \ldots \quad (43)$$

Ce résultat s'accorde avec la formule (34).

(*) D'ailleurs, si l'on part de cette expression de $(x^2-1)^n$, et que l'on en prenne les dérivées successives, on retrouve la formule (K). Le second membre de (M) est donc un polynôme entier $f(x)$, dont la dérivée $n^{\text{ième}}$ égale $\frac{d^n(x^2-1)^n}{dx^n}$, et dont toutes les autres dérivées, précédant celle-ci, s'annulent pour $x = -1$. Par conséquent, $f(x) = (x^2-1)^n$.

Digitized by Google

II. De même, $x = 0$ donne

$$U_{2n} = T_{2n} = 1 + C_{2n,1}(g-1) + C_{2n,2}(g-1)^2 + \cdots + C_{2n,n}(g-1)^n$$
$$= g^{2n} - (g-1)^{n+1}\left[C_{2n,n-1} + \cdots + (g-1)^{n-1}\right];$$

après quoi, au moyen de la formule (40), on obtient

$$(-1)^n \int_0^\pi \cos^{2n}\varphi d\varphi - \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi (g-1)^{n+1}\left[C_{2n,n-1} + \cdots + (g-1)^{n-1}\right] = (-1)^n \frac{C_{2n,n}}{4^n}\pi.$$

Mais cette relation peut être simplifiée. En effet,

$$\int_0^\pi \cos^{2n}\varphi d\varphi = 2\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^{2n}\varphi d\varphi = \pi \frac{1.3.5\ldots\overline{2n-1}}{2.4.6\ldots 2n} = \frac{\pi}{4^n} C_{2n,n}.$$

Donc

$$\int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi (g-1)^{n+1}\left[C_{2n,n-1} + C_{2n,n-2}(g-1) + \cdots + (g-1)^{n-1}\right] = 0. \quad (44)\ (*)$$

43. *Relation entre deux intégrales.* Si, dans l'égalité (40), on change x en x^2, la comparaison avec (M) donne

$$\int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi V_{2n} = \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi T_{2n}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (45)$$

pourvu que l'on suppose

$$V_{2n} = (x^2+1)^n + C_{2n,1}(x^2+1)^{n-1}(g-1) + \cdots + C_{2n,n}(g-1)^n \quad \ldots \quad (46)$$

D'ailleurs (41) :

$$T_{2n} = (x+1)^n\left[(x+1)^n + C_{2n,1}(x+1)^n(g-1) + \cdots + C_{2n,n}(g-1)^n\right]. \quad . \quad (47)$$

Donc l'égalité (45) devient

$$\left.\begin{aligned}&\int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi\left[(x^2+1)^n + C_{2n,1}(x^2+1)^{n-1}(g-1) + \cdots + C_{2n,n}(g-1)^n\right]\\ &= (x+1)^n \int_0^\pi \sin^{2n}\varphi d\varphi\left[(x+1)^n + C_{2n,1}(x+1)^{n-1}(g-1) + \cdots + C_{2n,n}(g-1)^n\right]\end{aligned}\right\}; \quad (N)$$

relation assez curieuse. Pour $x = 0$, elle se change en *identité*.

(*) Il est clair que l'on pourrait multiplier ces applications de la formule (40). Nous y reviendrons plus loin.

Digitized by Google

V

Complément d'une formule de Poisson.

44. Cette formule, dont il a été question ci-dessus (p. 10), peut être écrite ainsi :

$$\gamma^m + C_{m,1}\gamma^{m-1}(1-\gamma) + \cdots + C_{m,p}\gamma^{m-p}(1-\gamma)^p = (p+1)C_{m,p+1}(1-\gamma)^{p+1}\int_0^\gamma \frac{\theta^{m-p-1}d\theta}{(1-\gamma+\theta)^{m+1}}. \quad (48)\ (^*)$$

Si l'on fait

$$\theta = \gamma\lambda,$$

et qu'on supprime, dans les deux membres, le facteur γ^{m-p}, elle devient

$$\gamma^p + C_{m,1}\gamma^{p-1}(1-\gamma) + \cdots + C_{m,p}(1-\gamma)^p = (p+1)C_{m,p+1}(1-\gamma)^{p+1}\int_0^1 \frac{\lambda^{m-p-1}d\lambda}{(1-\gamma+\gamma\lambda)^{m+1}}. \quad (49)$$

45. *Suite.* Soient

$$\gamma = \frac{x}{x+y}, \quad 1-\gamma = \frac{y}{x+y}.$$

Un calcul très simple donne, au lieu de l'égalité (49),

$$x^m + C_{m,1}x^{m-1}y + \cdots + C_{m,p}x^{m-p}y^p = (p+1)C_{m,p+1}x^{m-p}y^{p+1}(x+y)^m\int_0^1 \frac{\lambda^{m-p-1}d\lambda}{(y+\lambda x)^{m+1}}. \quad (P)$$

Telle est la formule qui généralise ou complète celle de Poisson.

46. *Une vérification.* Si, dans (P), on change x en y, y en x, p en q, on obtient

$$y^m + C_{m,1}y^{m-1}x + \cdots + C_{m,q}y^{m-q}x^q = (q+1)C_{m,q+1}y^{m-q}x^{q+1}(x+y)^m\int_0^1 \frac{\lambda^{m-q-1}d\lambda}{(x+\lambda y)^{m+1}};$$

et, dans le cas particulier où $q = m - p - 1$:

$$C_{m,m-p-1}x^{m-p-1}y^{p+1} + \cdots + y^m = (m-p)C_{m,m-p}y^{p+1}x^{m-p}(x+y)^m\int_0^1 \frac{\lambda^p d\lambda}{(x+\lambda y)^{m+1}}. \quad (50)$$

(*) *Mélanges mathématiques*, t. I, p. 298.

Digitized by Google

Dans les égalités (P) et (37), la somme des premiers membres est $(x+y)^m$. Conséquemment,

$$1=(p+1)C_{m,p+1}x^{m-p}y^{p+1}\int_0^1\frac{\lambda^{m-p-1}d\lambda}{(y+\lambda x)^{m+1}}+(m-p)C_{m,m-p}x^{m-p}y^{p+1}\int_0^1\frac{\lambda^p d\lambda}{(x+\lambda y)^{m+1}};\quad(51)$$

mais cette relation peut être fort réduite.

En effet :

1° $(p+1)C_{m,p+1}=\frac{m(m-1)\ldots(m-p)}{1.2\ldots p}=(m-p)C_{m,m-p}=\frac{\Gamma(m+1)}{\Gamma(p+1)\Gamma(m-p)}$.

2° Dans la première intégrale, changeons λ en $\frac{1}{\lambda}$ (*). Elle devient

$$\int_1^\infty\frac{\lambda^p d\lambda}{(x+\lambda y)^{m+1}}.$$

Nous avons donc, plus simplement,

$$1=\frac{\Gamma(m+1)}{\Gamma(p+1)\Gamma(m-p)}x^{m-p}y^{p+1}\int_0^\infty\frac{\lambda^p d\lambda}{(x+\lambda y)^{p+1}};\quad\ldots\ldots\quad(52)$$

3° Soit $\lambda=\frac{xz}{y}$. On trouve enfin

$$\frac{\Gamma(p+1)\Gamma(m-p)}{\Gamma(m+1)}=\int_0^\infty\frac{z^p dz}{(1+z)^{m+1}};\quad\ldots\ldots\quad(53)$$

ce qui est exact (**)

47. *Application.* Soient, comme au n° 43 :

$$T_{2n}=(x+1)^{2n}+C_{2n,1}(x+1)^{2n-1}(g-1)+\cdots+C_{2n,n}(x+1)^n(g-1)^n,\quad\ldots\quad(54)$$

$$V_{2n}=\frac{1}{(x^2+1)^n}\left[(x^2+1)^{2n}+C_{2n,1}(x^2+1)^{2n-1}(g-1)+\cdots+C_{2n,n}(x^2+1)^n(g-1)\right]^n.\quad(55)$$

La formule (P) donne tout de suite, par un changement de lettres :

$$T_{2n}=(n+1)C_{2n,n-1}(x+1)^n(g-1)^{n+1}(x+g)^{2n}\int_0^1\frac{\lambda^{n-1}d\lambda}{[g-1+\lambda(x+1)]^{2n+1}},\quad(56)$$

$$V_{2n}=(n+1)C_{2n,n-1}(g-1)^{n+1}(x^2+g)^{2n}\int_0^1\frac{\lambda^{n-1}d\lambda}{[g-1+\lambda(x^2+1]^{2n+1}}.\quad\ldots\quad(57)$$

(*) Transformation connue.

(**) Bierens de Haan, t. XVIII.

Digitized by Google

Substituant dans (N), on trouve

$$\left.\begin{aligned}\int_0^{\pi} \sin^{2n}\varphi d\varphi (g-1)^{n+1}(x^2+g)^{2n}\int_0^1 \frac{\lambda^{n-1}d\lambda}{[g-1+\lambda(x^2+1)]^{2n+1}}\\ =(x+1)^n\int_0^{\pi} \sin^{2n}\varphi d\varphi (g-1)^{n+1}(x+g)^{2n}\int_0^1 \frac{\lambda^{n-1}d\lambda}{[g-1+\lambda(x+1)]^{2n+1}}\end{aligned}\right\}; \qquad (58)$$

relation qui pourrait encore être réduite.

De cette formule, supposée exacte, résulte celle-ci :

$$\int_0^{\pi} \sin^{2n}\varphi d\varphi (g-1)^{n+1}(g+1)^{2n}\int_0^1 \frac{\lambda^{n-1}d\lambda}{(g-1+2\lambda)^{2n+1}} = 0,$$

qu'il serait bon d'établir directement.

VI

Digression arithmétique.

48. *Une somme de fractions.* La *Seconde Note sur les fonctions* X_n contient (p. 6) la proposition suivante :

La somme des fractions

$$(2p+1)\frac{2.3.4\ldots p}{3.5.7\ldots\overline{2p+1}},\quad (2p-3)\frac{4.5\ldots p}{5.7\ldots\overline{2p-1}},\quad (2p-7)\frac{6.7\ldots p}{7.9\ldots\overline{2p-3}},\ \ldots$$

égale l'unité.

Cet énoncé exige que la dernière des fractions considérées échappe à la loi commune (*). Nous le rectifierons ainsi :

La somme S, *des fractions indiquées, est* $\frac{p}{p+1}$ *ou* $\frac{p-1}{p+2}$, *selon que* p *est pair ou impair* (**).

(*) *Second Mémoire sur les fonctions* X_n, p. 43.

(**) Dans le premier cas, le *dernier des numérateurs* $2.3\ldots p$, $4.5\ldots p$, $6.7\ldots p$, .. est p ; dans le second, il est $(p-1)p$.

49. *Application.* Soit $p = 9$. D'après l'énoncé :

$$19\frac{2.3.4.5.6.7.8.9}{3.5.7.9.11.13.15.17.19}+15\frac{4.5.6.7.8.9}{5.7.9.11.13.15.17}+11\frac{6.7.8.9}{7.9.11.13.15}+7\frac{8.9}{9.11.13}=\frac{8}{11},$$

ou

$$\frac{2.4.6.8}{11.13.15.17}+\frac{4.6.8}{11.13.17}+\frac{6.8}{13.15}+\frac{7.8}{11.13}=\frac{8}{11},$$

ou

$$\frac{2.4.6}{13.15.17}+\frac{24}{13.17}+\frac{66}{13.15}+\frac{7}{13}=1;$$

puis

$$2.4.6+24.15+66.17+105.17=13.15.17,$$

ou

$$16+120+22.17+35.17=65.17,$$

ou enfin

$$8+22+35=65\ (*).$$

50. *Théorie.* Les fractions précédentes jouissent de quelques propriétés assez curieuses, qu'il est, peut-être, utile de mentionner.

a étant un nombre *impair* (**), soit

$$a_n=(2a+5-4n)\frac{2n(2n+1)(2n+2)\dots a}{(2n+1)(2n+3)\dots(2a+5-2n)}; \quad \dots \quad (59)$$

ou, en réduisant,

$$a_n=(2a+5-4n)\frac{2n(2n+2)(2n+4)\dots\overline{a-1}}{(a+2)(a+4)\dots(2a+3-2n)} \quad \dots \quad (60)$$

De là résulte

$$a_{n+1}=(2a+1-4n)\frac{(2n+2)(2n+4)\dots\overline{a-1}}{(a+2)(a+4)\dots(2a+1-2n)};$$

puis

$$a_n+a_{n+1}=\frac{(2n+2)(2n+4)\dots(a-1)}{(a+2)(a+4)\dots(2a+3-2n)}\mathrm{N}, \quad \dots \quad (61)$$

en posant

$$\mathrm{N}=(2a+5-4n)2n+(2a+1-4n)(2a+3-2n).$$

(*) Si l'on prend $p = 10, 11, 12, \dots$, on obtient d'excellents exercices de *calcul numérique*.

(**) On verra, tout à l'heure, la raison de cette hypothèse.

Digitized by Google

Un calcul très simple donne

$$N = (2a + 1)(2a + 3 - 4n) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (62)$$

Donc

$$a_n + a_{n+1} = \frac{(2n + 2)(2n + 4) \ldots \overline{a - 1}}{(a + 2)(a + 4) \ldots (2a + 3 - 2n)} (2a + 1)(2a + 3 - 4n) \quad . \quad . \quad (63)$$

51. *Suite.* Si $n = 1$, le plus grand facteur du dénominateur est

$$2a + 3 - 2 = 2a + 1;$$

et la formule (63) se réduit à

$$a_1 + a_2 = \frac{4.6.8 \ldots \overline{a - 1}}{(a + 2)(a + 4) \ldots (2a - 3)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (64)$$

Ainsi, *le premier binôme est réductible.* Mais il n'en est pas de même pour $a_3 + a_4$, $a_5 + a_6$, ..., du moins quand $2a + 1$ est un *nombre premier.*

Pour plus de clarté, représentons par B_k le binôme $a_n + a_{n+1}$, dont k est le *rang*. Il est visible que $n = 2k - 1$.

Cela posé, la formule (63) devient

$$B_k = \frac{4k(4k + 2) \ldots (a - 1)}{(a + 2)(a + 4) \ldots (2a + 5 - 4k)} (2a + 1)(2a + 7 - 8k) \quad . \quad . \quad . \quad (65)$$

La plus grande valeur de $2n + 2$ est, par cette même formule (63), $a - 1$. Soit λ *la plus grande valeur* de k. Alors :

$$\left. \begin{array}{c} a = 4\lambda + 1, \\ 2a + 1 = 8\lambda + 3, \\ B_\lambda = \dfrac{4\lambda}{(4\lambda + 3)(4\lambda + 5)(4\lambda + 7)} 9.(8\lambda + 3) \end{array} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (66)\,(*)$$

Chacune des valeurs de B_k, sauf la première, a la forme $\frac{A}{B}(8\lambda + 3)$, $\frac{A}{B}$ étant une fraction irréductible.

(*) Ces valeurs s'accordent avec l'*application* faite dans le n° 49.

Digitized by Google

D'ailleurs,

$$B_1 = \frac{4.6.8\ldots 4\lambda}{(4\lambda+3)(4\lambda+5)\ldots(8\lambda-1)}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (67)$$

et la somme $S = \frac{a-1}{a+2} = \frac{4\lambda}{4\lambda+3}$. Donc

$$\frac{4\lambda}{4\lambda+3} = \frac{4.6.8\ldots 4\lambda}{(4\lambda+3)(4\lambda+5)\ldots(8\lambda-1)} = \sum \frac{A}{B}(8\lambda+3);$$

puis, $8\lambda + 3$ étant *premier :*

$$(4\lambda+5)(4\lambda+7)\ldots(8\lambda-1) - 4.6.8\ldots(4\lambda-2) = \mathfrak{M}(8\lambda+3) \quad \ldots \quad (68)$$

Pour vérifier cette *identité,* il suffit d'observer que : 1° chacun des deux produits contient un nombre *pair* de facteurs; 2°

$$(4\lambda+5)+(4\lambda-2) = (4\lambda+7)+(4\lambda-4)+\ldots = 8\lambda+3 \text{ (*)}.$$

52. *Autre sommation* (**). Soit

$$H_n = \frac{1}{2n+1} - \frac{1}{2n-1}C_{n,1} + \frac{1}{2n-3}C_{n,2} - \ldots \pm 1 \quad \ldots\ldots \quad (69)$$

Il est visible que

$$H_n = \int_0^1 (x^{2n} - C_{n,1}x^{2n-2} + \ldots \pm 1)\,dx,$$

ou

$$H_n = (-1)^n \int_0^1 (1-x^2)^n dx \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (70)$$

(*) La condition *supposée* n'est donc pas *nécessaire.*
(**) Nous en aurons besoin dans la *Troisième partie.*

Digitized by Google

Si l'on fait $x^2 = \theta$, cette formule devient

$$H_n = \frac{1}{2}(-1)^n \int_0^1 (1-\theta)^n \theta^{-\frac{1}{2}} d\theta. \qquad (71)$$

ou

$$H_n = \frac{1}{2}(-1)^n \frac{\Gamma(n+1)\sqrt{\pi}}{\Gamma\left(n+\frac{3}{2}\right)};$$

et, finalement,

$$H_n = (-1)^n \frac{2.4.6\ldots 2n}{3.5.7\ldots \overline{2n+1}}. \qquad (72)$$

53. *Remarque.* On sait que

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^{2n+1}\varphi d\varphi = \frac{2.4\ldots 2n}{3.5\ldots \overline{2n+1}}.$$

Donc

$$H_n = (-1)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^{2n+1}\varphi d\varphi \qquad (73)$$

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE.

POLYNOMES DE POLIGNAC (*).

54. PROBLÈME. *Évaluer la partie entière du développement de*

$$(x^2-1)^n \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}.$$

Soit Q_n cette partie entière (*Polynôme de Polignac*).

Il est visible que

$$Q_n = 2\left[\frac{S_n}{x} + \frac{S_{n-1}}{3x^3} + \frac{S_{n-2}}{5x^5} + \cdots + \frac{S_1}{(2n-1)x^{2n-1}}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (74)\ (^{**})$$

Le terme général du polynôme entre parenthèses est

$$\frac{S_p}{(2n-2p+1)x^{2n-2p+1}}.$$

D'ailleurs,

$$S_p = (-1)^p 2n C_{n-1,p-1} x^{2n-2p+2} \int_0^1 \frac{(x^2-1)^n \alpha^{n-2p+1}}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}}\, d\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Donc

$$Q_n = 4nx(x^2-1)^n \int_0^1 \frac{d\alpha}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}} \sum_1^n C_{n-1,p-1} \frac{(-1)^p \alpha^{2n-2p+1}}{2n-2p+1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (75)$$

(*) Les polynômes que je désigne ainsi jouissent de propriétés remarquables, dont la plupart ont été indiquées par M. C. de Polignac, dans le *Bulletin de la Société mathématique de France* (t. III, p. 19).

(**) Soit, par exemple, $n = 4$. Le développement dont il s'agit est

$$2(x^8 - 4x^6 + 6x^4 - 4x^2 + 1)\left[\frac{1}{x} + \frac{1}{3x^3} + \frac{1}{5x^5} + \frac{1}{7x^7} + \cdots\right].$$

Donc

$$Q_4 = 2(x^7 - 4x^5 + 6x^3 - 4x) + \frac{2}{3}(x^5 - 4x^3 + 6x) + \frac{2}{5}(x^3 - 4x) + \frac{2}{7}x;$$

ou, en reprenant les notations employées dans le n° 23 :

$$Q_4 = 2\left[\frac{S_4}{x} + \frac{S_3}{3x^3} + \frac{S_2}{5x^5} + \frac{S_1}{7x^7}\right].$$

Digitized by Google

La somme contenue sous le signe $\int$ est celle qui a été désignée par $F_n(x)$ (35) (*). Nous avons trouvé

$$F_n(x) = -x\int_0^1 (\beta^2x^2 - 1)^{n-1}d\beta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (32)$$

Ainsi, la somme dont il s'agit a pour expression

$$-\alpha\int_0^1 (\alpha^2\beta^2 - 1)^{n-1}d\beta.$$

Conséquemment,

$$Q_n = -4nx(x^2-1)^n\int_0^1 \frac{\alpha d\alpha}{(\alpha^2x^2-1)^{n+1}}\int_0^1 (\alpha^2\beta^2-1)^{n-1}d\beta \quad . \; . \; . \quad (Q)$$

55. *Autre solution.* Le développement de $(x^2 - 1)^n \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$ se compose du polynôme entier Q_n, augmenté d'une série procédant suivant les puissances négatives et impaires de x. Ainsi

$$(x^2-1)^n \mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = Q_n + \frac{B_n}{x} + \frac{C_n}{x^3} + \cdots, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (76)$$

B_n, C_n, ... étant des coefficients numériques.

Multipliant par $x^2 - 1$, nous avons

$$Q_{n+1} = (x^2-1)Q_n + B_n x; \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (77)$$

puis ce groupe d'équations :

$$\left.\begin{aligned} Q_n &= (x^2-1)Q_{n-1} + B_{n-1}x, \\ Q_{n-1} &= (x^2-1)Q_{n-2} + B_{n-2}x, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Q_2 &= (x^2-1)Q_1 + B_1 x, \\ Q_1 &= \qquad\qquad 2x \; (^{**}). \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (78)$$

(*) x remplaçant α.

(**) En effet,

$$(x^2-1)\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1} = 2(x^2-1)\left[\frac{1}{x} + \frac{1}{3x^3} + \cdots\right] = 2x + \cdots$$

Digitized by Google

Ou en déduit

$$Q_n = x[B_{n-1} + B_{n-2}(x^2 - 1) + \cdots + B_1(x^2-1)^{n-2} + 2(x^2-1)^{n-1}] \quad . \quad . \quad . \quad (79)$$

Si, dans l'égalité (76), on développe $(x^2 - 1)^n$ et $\mathfrak{L}\frac{x+1}{x-1}$, puis qu'on effectue le produit, on trouve, facilement,

$$B_n = 2\left[\frac{1}{2n+1} - \frac{1}{2n-1}C_{n,1} + \frac{1}{2n-3}C_{n,2} - \cdots \pm 1\right];$$

c'est-à-dire (52)

$$B_n = 2H_n = (-1)^n \int_0^1 (1-\theta)^n \theta^{-\frac{1}{2}} d\theta. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (71)$$

La formule (79) devient donc

$$Q_n = x\int_0^1 \theta^{-\frac{1}{2}} d\theta [(\theta-1)^{n-1} + (\theta-1)^{n-2}(x^2-1) + \cdots + (x^2-1)^{n-1}],$$

ou

$$Q_n = x\int_0^1 \theta^{-\frac{1}{2}} d\theta \, \frac{(\theta-1)^n - (x^2-1)^n}{\theta - x^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (R)$$

56. *Remarque.* A cause de

$$H_n = (-1)^n \frac{2.4.6 \ldots 2n}{3.5.7 \ldots \overline{2n+1}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (72)$$

la formule (R) peut, avantageusement, être remplacée par celle-ci :

$$Q_n = 2x\,[H_{n-1} + H_{n-2}(x^2-1) + \cdots + H_1(x^2-1)^{n-2} + (x^2-1)^{n-1}] \quad . \quad . \quad . \quad (S)$$

Soit, par exemple, $n = 3$. On trouve

$$Q_3 = 2x\left[\frac{8}{15} - \frac{2}{3}(x^2-1) + (x^2-1)^2\right],$$

ou

$$Q_3 = 2x^5 - \frac{16}{3}x^3 + \frac{22}{5}x.$$

C'est le résultat que donne le calcul direct.

Digitized by Google

57. *Une équation différentielle.* De

$$Q_{n+1} = (x^2 - 1)Q_n + B_n x, \quad \dots\dots\dots \quad (77)$$

on déduit :

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dQ_{n+1}}{dx} &= (x^2-1)\frac{dQ_n}{dx} + 2xQ_n + B_n,\\
\frac{d^2Q_{n+1}}{dx^2} &= (x^2-1)\frac{d^2Q_n}{dx^2} + 4x\frac{dQ_n}{dx} + 2Q_n,\\
\frac{d^3Q_{n+1}}{dx^3} &= (x^2-1)\frac{d^3Q_n}{dx^3} + 6x\frac{d^2Q_n}{dx^2} + 6\frac{dQ_n}{dx},\\
\frac{d^4Q_{n+1}}{dx^4} &= (x^2-1)\frac{d^4Q_n}{dx^4} + 8x\frac{d^3Q_n}{dx^3} + 12\frac{d^2Q_n}{dx^2},\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots
\end{aligned}\right\} \quad \dots\dots \quad (80)$$

$$\frac{d^{n+1}Q_{n+1}}{dx^{n+1}} = (x^2-1)\frac{d^{n+1}Q_n}{dx^{n+1}} + 2(n+1)x\frac{d^nQ_n}{dx^n} + n(n+1)\frac{d^{n-1}Q_n}{dx^{n-1}} \quad \dots \quad (T)$$

Telle est l'équation différentielle cherchée (*).

58. *Remarque.* Les premières valeurs de Q_n sont :

$$Q_1 = 2x, \quad Q_2 = 2\left(x^3 - \frac{5}{3}x\right), \quad Q_3 = 2\left(x^5 - \frac{8}{3}x^3 + \frac{11}{5}x\right).$$

Il en résulte :

$$\frac{dQ_1}{dx} = 2, \quad \frac{d^2Q_2}{dx^2} = 12x, \quad \frac{d^3Q_3}{dx^3} = 40x^2 - 32x.$$

Or, on sait que :

$$P_1 = 2, \quad P_2 = 3x, \quad P_3 = \frac{1}{3}(15x^2 - 4) \text{ (**)}.$$

Ainsi

$$\frac{dQ_1}{dx} = P_1, \quad \frac{d^2Q_2}{dx^2} = 2.1.2.P_2, \quad \frac{d^3Q_3}{dx^3} = 4.1.2.3.P_3.$$

On va voir que cette loi est générale.

(*) Plus exactement, l'équation aux *différences mêlées.*
(**) *Sur quelques formules d'Analyse,* p. 12.

Digitized by Google

59. Théorème X. *On a, entre les polynômes d'Hermite et ceux de Polignac, la relation*

$$\frac{d^{n+1}Q_{n+1}}{dx^{n+1}} = 2^n\Gamma(n+2)P_{n+1}. \quad \text{(U)}$$

Supposons, d'après la Remarque précédente,

$$\frac{d^nQ_n}{dx^n} = 2^{n-1}\Gamma(n+1)P_n; \quad (81)$$

et voyons s'il en résulte l'égalité (U). Nous avons trouvé l'équation différentielle

$$\frac{d^{n+1}Q_{n+1}}{dx^{n+1}} = (x^2-1)\frac{d^{n+1}Q_n}{dx^{n+1}} + 2(n+1)x\frac{d^nQ_n}{dx^n} + n(n+1)\frac{d^{n-1}Q_n}{dx^{n-1}} \quad \text{(T)}$$

On tire, de la relation (81) :

$$\frac{d^{n+1}Q_n}{dx^{n+1}} = 2^{n-1}\Gamma(n+1)\frac{dP_n}{dx}, \quad (82)$$

$$\frac{d^{n-1}Q_n}{dx^{n-1}} = 2^{n-1}\Gamma(n+1)\int_1^x P_n dx.$$

Le second membre de l'équation (U) est donc

$$2^{n-1}\Gamma(n+1)(x^2-1)\frac{dP_n}{dx} + 2^n\Gamma(n+1)xP_n + 2^{n-1}n\Gamma(n+2)\int P_n dx;$$

et, d'après la formule (81), il faut vérifier que cette fonction égale $2_n\Gamma(n+2)P_{n+1}$, ou que l'on a

$$(x^2-1)\frac{dP_n}{dx} + 2x(n+1)P_n + n(n+1)\int P_n dx = 2(n+1)P_{n+1}. \quad (83)$$

L'équation différentielle à laquelle satisfait P_n est

$$(x^2-1)\frac{d^2P_n}{dx^2} + 2(n+2)x\frac{dP_n}{dx} + (n+2)(n+1)P_n = 2(n+1)\frac{dP_{n+1}}{dx} \quad \text{(F) (*)}$$

(*) Page 18.

Digitized by Google

Or, dans l'égalité (85), la dérivée du premier membre est

$$(x^2-1)\frac{d^2P_n}{dx^2}+2x\frac{dP_n}{dx}+2x(n+1)\frac{dP_n}{dx}+2(n+1)P_n+n(n+1)P_n;$$

ce qui ne diffère pas du premier membre de (F). La relation (U) est donc démontrée.

60. Théorème XI. *La partie entière du développement de* $\frac{d^n[(x^2-1)^n]}{dx^n}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$ *égale le double de la* $n^{\text{ième}}$ *dérivée de la partie entière du développement de* $(x^2-1)^n\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$ (*).

On vient de voir que

$$\frac{d^nQ_n}{dx^n}=2^{n-1}\Gamma(n+1)P_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (81)$$

Mais, d'après la formule de Rodrigues,

$$\frac{d^n(x^2-1)^n}{dx^n}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}=2^n\Gamma(n+1)X_n\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}.$$

La partie entière du second membre est $2^n\Gamma(n+1)P_n$ (**). D'après l'équation (81), cette partie entière égale $2\frac{d^nQ_n}{dx^n}$. Donc :

Partie entière de $\frac{d^n(x^2-1)^n}{dx^n}\mathcal{L}\frac{x+1}{x-1}$ = 2 *fois partie entière de* $\frac{d^nQ_n}{dx^n}$.

C. Q. F. D. (***)

(*) Théorème de M. C. de Polignac (*Société mathématique de France*, t. III, p. 21).

(**) *Cours de M. Hermite*, p. 146.

(***) N'ayant pu saisir la démonstration donnée par M. de Polignac, j'en ai cherché une autre : celle qu'on vient de lire. Peut-être pèche t-elle en un point.

Liège, 19 janvier 1891.

Digitized by Google

ADDITIONS.

I

A la page 6 des *Nouvelles propriétés*... se trouve la relation

$$A_p(x^2-1)^p \frac{d^p X_n}{dx^p} = \frac{d\left[(x^2-1)^{p+1}\frac{d^{p+1}X_n}{dx^{p+1}}\right]}{dx}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(M)}$$

dans laquelle A_p est un *coefficient numérique* (*).

On la ramène, facilement, à celle-ci :

$$\frac{d^{n-\nu}(x^2-1)^n}{dx^{n-\nu}} = \frac{(x^2-1)^\nu}{(n-\nu+1)\ldots(n+\nu)} \frac{d^{n+\nu}(x^2-1)^n}{dx^{n+\nu}}; \quad \ldots\ldots \quad \text{(M')}$$

laquelle est due à Jacobi (**).

II

L'identité

$$\sum_0^\infty n X_n x^n = 0 \ (^{***}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (149)$$

donne lieu à un petit théorème d'Arithmétique.

Prenons, en effet, la formule

$$X_n = \frac{1}{2^n}\sum_{p=0} C_{n,p} \,.\, C_{2n-2p,n}\, x^{n-2p} \ (^{\text{IV}}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

(*) On a imprimé $(x^p-1)^{p+1}$, au lieu de $(x^2-1)^{p+1}$.

(**) Voir, dans le *Bulletin de la Société mathématique de France*, janvier 1891, une intéressante Note de M. Caspary. Je dois, à ce savant Géomètre, la rectification de plusieurs erreurs. Le théorème de Jacobi est celui qui avait été proposé par *M. Lucien Lévy*, dans le *Journal* de M. de Longchamps (1884), *sans indication de source.*

(***) *Second Mémoire*, p. 79.

(IV) *Premier Mémoire*, p. 11. A la page 12, on a imprimé 2_{n+1}, au lieu de 2^{n+1}.

Digitized by Google

La relation (149) devient

$$\sum \frac{n}{2^n}(-1)^p C_{n,p} C_{2n-p,n} x^{2n-p} = 0;$$

ou, si l'on suppose $n = p + q$, q étant un *nombre donné :*

$$\sum \frac{p+q}{2^{p+q}}(-1)^p C_{p+q,p} C_{2q,p+q} x^{2q} = 0.$$

Cette égalité exige que

$$\sum_{p=0}^{p=q} \frac{p+q}{2^{p+q}}(-1)^p C_{p+q,q} \,.\, C_{2q,p+q} = 0.$$

Par suite : *Prenant, en signes contraires, les termes du développement de* $(1-2)^q$, *à partir du deuxième, on multiplie chacun d'eux par son rang : la somme des produits égale* 2q.

III

Dans le *Second Mémoire* (p. 93), j'ai donné la formule

$$\int_{-1}^{+1} \frac{1-x^2}{(1-2rx+r^2)^{\frac{5}{2}}}\, dx = \frac{4}{3},$$

dont la vérification est facile. Il en résulte cette proposition de Géométrie : *Si l'on considère toutes les courbes représentées par*

$$y = \frac{1-x^2}{(1-2\lambda x+\lambda^2)^{\frac{5}{2}}},$$

λ *étant un paramètre; les segments, déterminés par chacune de ces lignes et par l'axe des abscisses, sont équivalents.*

Liège, 30 mai 1891.

Digitized by Google

SUR

LE DÉVELOPPEMENT DE CERTAINES FONCTIONS ALGÉBRIQUES

PAR

Jacques DERUYTS,

CORRESPONDANT DE L'ACADÉMIE

(Présenté à la Classe des sciences dans la séance du 7 novembre 1891.)

Digitized by Google

Digitized by Google

SUR

LE DÉVELOPPEMENT DE CERTAINES FONCTIONS ALGÉBRIQUES.

1. Soient

$$\begin{array}{l} x1_1 \quad x1_2 \dots x1_N, \\ x2_1 \quad x2_2 \dots x2_N, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ xN_1 \quad xN_2 \dots xN_N, \end{array}$$

N séries de N variables. Toute solution algébrique entière $\mathcal{F}$ des équations

$$(1) \quad \dots \quad \left\{ \begin{array}{l} xi_1 \dfrac{d}{dxi+1_1} + xi_2 \dfrac{d}{dxi+1_2} + \dots + xi_N \dfrac{d}{dxi+1_N} = 0, \\ i = 1,\ 2,\ \dots\ N-1 \end{array} \right.$$

est exprimable comme somme de produits $\upsilon(x)$, dont les facteurs sont des déterminants d'ordre 1, 2, ... N, analogues à

$$x1_m, \quad (\pm x1_p\, x2_q), \quad (\pm x1_r\, x2_s\, x3_t), \dots \text{ (*)}$$

Nous nous proposons d'établir la formule du développement de $\mathcal{F}$ suivant les produits $\upsilon(x)$. En appliquant notre résultat à la théorie des formes, nous déterminerons le mode de réduction *explicite* des fonctions invariantes aux covariants primaires.

(*) Voir notre *Essai d'une théorie générale des formes algébriques*, p. 66 (Mémoires de la Société royale des sciences de Liége, 2e série, t. XVII).

Digitized by Google

2. Notations. — Dans ce qui suit, la caractéristique υ servira à désigner les fonctions

$$\upsilon(x) = x1_m^{\alpha} \dots (\pm x1_p\, x2_q)^{\beta} \dots (\pm x1_r\, x2_s\, x3_t)^{\gamma} \dots,$$

dans lesquelles $m, p, q, r, \dots$ représentent des nombres compris dans la suite $1, 2, \dots N$. Aux quantités $\upsilon(x)$ il correspondra les opérateurs

$$\Theta_\upsilon = \left(\frac{d}{dx1_m}\right)^{\alpha} \dots \left(\pm \frac{d}{dx1_p} \frac{d}{dx2_q}\right)^{\beta} \dots \left(\pm \frac{d}{dx1_r} \frac{d}{dx2_s} \frac{d}{dx3_t}\right)^{\gamma} \dots$$

et les nombres

$$\varepsilon = \frac{(\Sigma\alpha)!}{\Pi\alpha!} \cdot \frac{(\Sigma\beta)!}{\Pi\beta!} \frac{(\Sigma\gamma)!}{\Pi\gamma!} \dots,$$

$$\zeta = \left(\frac{d}{dx1_1}\right)^{\Sigma\alpha} \left(\pm \frac{d}{dx1_1} \frac{d}{dx2_2}\right)^{\Sigma\beta} \left(\pm \frac{d}{dx1_1} \frac{d}{dx2_2} \frac{d}{dx3_3}\right)^{\Sigma\gamma} \dots$$

$$x1_1^{\Sigma\alpha} (\pm x1_1\, x2_2)^{\Sigma\beta} (\pm x1_1\, x2_2\, x3_3)^{\Sigma\gamma} \dots,$$

qui sont toujours différents de zéro.

Suivant l'usage, la notation $xh \frac{d}{dxk}$ désignera l'opération polaire simple

$$xh \frac{d}{dxk} = xh_1 \frac{d}{dxk_1} + xh_2 \frac{d}{dxk_2} + xh_3 \frac{d}{dxk_3} + \dots$$

Développement d'une fonction $\mathfrak{F}$ particulière.

3. Considérons la fonction invariante

$$\mathrm{J} = a1_{x1}^{\nu 1} (\pm a1_{x1}\, a2_{x2})^{\nu 2} \dots (\pm a1_{x1}\, a2_{x2} \dots ak_{xk})^{\nu k}$$
$$\dots (\pm a1_{x1}\, a2_{x2} \dots a\mathrm{N}_{x\mathrm{N}})^{\nu \mathrm{N}},$$

relative aux formes linéaires

$$ak_x = ak_1 . x_1 + ak_2 . x_2 + \cdot \cdot + ak_{\mathrm{N}}\, x_{\mathrm{N}}$$

$(k = 1, 2, \dots \mathrm{N})$. Il est visible que J est une solution $\mathfrak{F}$ des équations (1); on peut l'écrire :

(2) . . . . $\mathrm{J} = \sum \varepsilon . \upsilon . \upsilon(a)$,

Digitized by Google

en rapportant la sommation aux fonctions distinctes υ, des mêmes degrés que J par rapport aux séries de variables x. Les exposants α, β, ... des produits υ ont pour sommes $\Sigma\alpha = \nu 1$, $\Sigma\beta = \nu 2$, ...

Généralement, d'une fonction invariante φ on déduit une fonction analogue en remplaçant les produits, tels que

$$a1_1^{\alpha 1_1}\, a1_2^{\alpha 1_2} \ldots a2_1^{\alpha 2_1} \ldots aN_N^{\alpha N_N}$$

par les dérivées correspondantes

$$\frac{d^{\cdots}\varphi_1}{dx1_1^{\alpha 1_1}\, dx1_2^{\alpha 1_2} \ldots dx2_1^{\alpha 2_1} \ldots dxN_N^{\alpha N_N}}$$

d'une fonction invariante φ_1.

En appliquant cette propriété au cas de $\varphi = \varphi_1 = J$, on obtient, d'après la formule (2), la fonction invariante

$$J_1 = \sum \varepsilon . \upsilon . \Theta_\upsilon J.$$

Désignons par υ_1 le produit υ particulier

$$\upsilon_1 = x1_1^{\nu 1}(\pm x1_1\, x2_2)^{\nu 2}(\pm x1_1\, x2_2\, x3_3)^{\nu 3} \ldots;$$

d'après le sens des notations υ et ε, on trouve que $\Theta_{\upsilon_1} J$ est la *source* de J_1 (c'est-à-dire le coefficient des plus hautes puissances de $x1_1$, $x2_2$, ... xN_N dans le développement de J).

La quantité $\Theta_{\upsilon_1} J$ est égale au produit du facteur numérique $\Theta_{\upsilon_1}\upsilon_1$ par l'expression

$$J_0 = a1_1^{\nu 1}(\pm a1_1\, a2_2)^{\nu 2}(\pm a1_1\, a2_2\, a3_3)^{\nu 3} \ldots,$$

qui est la source de J. D'un autre côté, le nombre représenté ci-dessus par ζ (§ 2) a précisément pour valeur $\Theta_{a_1}\upsilon_1$, quand on le rapporte aux produits υ compris dans la formule (2).

D'après ces considérations, les fonctions invariantes J et $\frac{1}{\zeta} J_1$ sont des

Digitized by Google

mêmes degrés par rapport aux variables, et ont la même source J_0; conséquemment, elles sont égales, et l'on obtient (*):

$$(3) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad J = \frac{1}{\zeta} \sum \varepsilon . \upsilon . \Theta_\upsilon J,$$

pour développement de la fonction particulière $\mathcal{J} = J$ suivant les produits υ.

Exemple. — Dans le cas de

$$\nu 1 = 2, \quad \nu 2 = 1, \quad \nu 3 = 1, \quad \nu 4 = 0, \ldots \nu N = 0,$$

on a

$$J = a1^2_{x1} (\pm a1_{x1}\, a2_{x2}) (\pm a1_{x1}\, a2_{x2}\, a3_{x3})$$

$$= \frac{1}{144} \sum \varepsilon\, x1_m\, x1_{m'} (\pm x1_p\, x2_q) (\pm x1_r\, x2_s\, x3_t)$$

$$\times \frac{d}{dx1_m} \frac{d}{dx1_{m'}} \left(\pm \frac{d}{dx1_p} \frac{d}{dx2_q}\right) \left(\pm \frac{d}{dx1_r} \frac{d}{dx2_s} \frac{d}{dx3_t}\right) J.$$

La sommation se rapporte aux systèmes de nombres m et m', p et q, r, s et t que l'on peut former avec 1, 2, ... N. Le facteur ε est égal à 1, si l'on a $m = m'$; il est égal à 2 dans le cas contraire.

4. La formule (3) donne lieu à différentes considérations, dont nous aurons à faire usage dans la suite.

Les fonctions

$$U = \sqrt{\varepsilon} . \upsilon, \qquad U' = \sqrt{\varepsilon} \left\{ \frac{1}{\zeta} \Theta_\upsilon J - \upsilon(a) \right\}$$

dépendent respectivement des éléments x et a. A toute relation du premier degré entre les U il correspond une relation analogue entre les U', d'après les expressions de υ, $\upsilon(a)$ et $\Theta_\upsilon J$. Dans ces conditions, si les quantités U' se réduisent linéairement à T d'entre elles, la fonction $\Sigma UU'$ s'exprime, sans

(*) *Loc. cit.*, p. 68.

Digitized by Google

réduction possible, comme somme de T produits de deux facteurs qui dépendent respectivement des éléments x et a (*).

D'après les équations (2) et (3), on a

$$\sum \mathrm{UU}' = 0;$$

par suite, le nombre T est égal à zéro et toutes les fonctions U′ sont nulles. On obtient donc

$$(4) \quad \ldots\ldots\ldots \quad v(a) = \frac{1}{\zeta}\,\Theta_v\,\mathrm{J},$$

c'est-à-dire

$$(4') \quad \ldots \quad a1^{\alpha} \ldots (\pm\, a1_p\, a2_q)^{\beta} \ldots = \frac{1}{\zeta}\left(\frac{d}{dx1_m}\right)^{\alpha} \ldots \left(\pm \frac{d}{dx1_p}\,\frac{d}{dx2_q}\right)^{\beta} \ldots \mathrm{J}.$$

On déduit de là :

$$(4'') \quad \ldots\ldots \quad a1^{\alpha}_{xm} \ldots (\pm\, a1_{xp}\, a2_{xq})^{\beta} \ldots = \frac{1}{\zeta} \cdot \mathrm{OJ},$$

si l'on définit l'opérateur O par la formule

$$\mathrm{O} = \left(xm \frac{d}{dx1}\right)^{\alpha} \ldots \left(\pm\, xp \frac{d}{dx1}\; xq \frac{d}{dx2}\right)^{\beta} \ldots,$$

en convenant de remplacer les produits de dérivées simples par des dérivées multiples; les deux membres de l'équation (4″) sont, en effet, des fonctions invariantes, de mêmes degrés, qui ont la même source, ainsi qu'il résulte de la formule (4′).

Par l'identification des multiplicateurs des plus hautes puissances de $a1_1$ $a2_2$ ... $a\mathrm{N}_\mathrm{N}$ dans les deux membres de l'équation (4″), on obtient :

$$xm_1^{\alpha} \ldots (\pm\, xp_1\, xq_2)^{\beta} \ldots = \frac{1}{\zeta}\,\mathrm{O}x1_1^{\nu_1}\,(\pm\, x1_1\, x2_2)^{\nu_2} \ldots$$

(*) Voir *Bulletin de l'Académie*, 1891, t. XXII, p. 14.

Digitized by Google

ou, sous forme plus explicite,

$$(5) \quad \ldots\ldots \quad xm_1^{\alpha} \ldots (\pm\, xp_1\, xq_2)^{\beta} \ldots = \frac{1}{\zeta}\, 0x1_1^{\Sigma\alpha} (\pm\, x1_1\, x2_2)^{\Sigma\beta} \ldots$$

Remarque. — Supposons que les fonctions υ, comprises dans le développement de J, sont réductibles linéairement à σ d'entre elles $\upsilon_1\ \upsilon_2 \ldots \upsilon_\sigma$. Nous obtiendrons, par la formule (2),

$$J = C_1 \upsilon_1 + C_2 \upsilon_2 + \cdots + C_\sigma \upsilon_\sigma,$$

en désignant par C des fonctions du premier degré des quantités $\upsilon(a)$.

Les termes $\upsilon(a)$ s'expriment au moyen de σ d'entre eux et, d'après l'équation (4), ils dépendent linéairement de $C_1\ C_2 \ldots C_\sigma$; en conséquence, *il n'existe aucune relation du premier degré entre* $C_1\ C_2 \ldots C_\sigma$.

Développement d'une fonction quelconque $\mathcal{F}$.

5. Soit $\mathcal{F}_0$ une solution algébrique entière des équations (1), homogène, des degrés $\rho1, \rho2, \ldots \rho N$ par rapport à $x1, x2, \ldots xN$.

Puisque $\mathcal{F}_0$ est développable suivant les produits υ (§ 1), les nombres

$$\nu1 = \rho1 - \rho2, \quad \nu2 = \rho2 - \rho3 \ldots, \quad \nu N - 1 = \rho N - 1 - \rho N, \quad \nu N = \rho N$$

ont des valeurs positives ou nulles, et l'on peut supposer que $\mathcal{F}_0$ et J sont des mêmes degrés par rapport aux variables. Nous écrirons

$$\mathcal{F}_0 = \sum c\,.\,\upsilon,$$

en désignant par c des constantes et en rapportant la sommation aux fonctions υ, qui sont des mêmes degrés que $\mathcal{F}_0$ et J.

Par la réduction des quantités υ aux termes linéairement indépendants $\upsilon_1\ \upsilon_2 \ldots \upsilon_\sigma$, on obtient une expression

$$\mathcal{F}_0 = c'_1 \upsilon_1 + c'_2 \upsilon_2 + \cdots + c'_\sigma \upsilon_\sigma,$$

dans laquelle les lettres c' désignent des nouvelles constantes.

Digitized by Google

Cela posé, la différence

$$R = \mathcal{F}_0 - \frac{1}{\zeta} \sum \varepsilon . \upsilon . \Theta_\upsilon \mathcal{F}_0$$

est une fonction du premier degré de $c'_1, c'_2, \dots c'_\tau$. D'après la formule (3), on a $R = 0$ pour $\mathcal{F}_0 = J$, et dans ce cas $c'_1, c'_2, \dots c'_\tau$ ont des valeurs linéairement indépendantes $C_1\ C_2 \dots C_\tau$ (§ 4, *Rem.*). Il résulte de là que la différence R, relative à $\mathcal{F}_0$, doit être nulle identiquement; on a donc

$$\mathcal{F}_0 = \frac{1}{\zeta} \sum \varepsilon . \upsilon . \Theta_\upsilon \mathcal{F}_0 .$$

Soit $\mathcal{F}'_0$ une solution algébrique entière des équations (1), qui contient les variables $x1, x2, \dots xN$ aux degrés $\rho'1, \rho'2, \dots \rho'N$, différents en tout ou en partie de $\rho1, \rho2, \dots \rho N$, mais de telle façon que l'on ait

$$\rho'1 + \rho'2 + \cdots + \rho'N = \rho 1 + \cdots + \rho N.$$

Par analogie avec le développement de $\mathcal{F}_0$, on écrira

$$\mathcal{F}'_0 = \frac{1}{\zeta'} \sum' \varepsilon' . \upsilon' \Theta_{\upsilon'} \mathcal{F}'_0,$$

en désignant par $\varepsilon', \zeta', \upsilon'$ les quantités qui correspondent à $\varepsilon, \xi, \upsilon$ par le changement de $\rho1, \rho2, \dots$ en $\rho'1, \rho'2, \dots$

Les dérivées qui servent à exprimer les opérateurs $\Theta_{\upsilon'}$ sont d'ordres $\rho'1, \rho'2, \dots$ par rapport à $x1, x2, \dots$ Puisque $\mathcal{F}_0, \mathcal{F}'_0$ sont du même degré pour le système *total* des variables, sans être du même degré pour chacune des séries $x1, x2, \dots$, on a

$$\Theta_{\upsilon'} \mathcal{F}_0 = 0$$

et, semblablement,

$$\Theta_\upsilon \mathcal{F}'_0 = 0.$$

On peut donc écrire :

$$\mathcal{F}_0 + \mathcal{F}'_0 = \frac{1}{\zeta} \sum \varepsilon\, \upsilon . \Theta_\upsilon \{ \mathcal{F}_0 + \mathcal{F}'_0 \} + \frac{1}{\zeta'} \sum' \varepsilon'\, \upsilon' . \Theta_{\upsilon'} \{ \mathcal{F}_0 + \mathcal{F}'_0 \}.$$

Digitized by Google

Conséquemment, *si $\mathcal{F}_1$ est une solution algébrique entière des équations* (1), *de degré ρ pour le système total des variables $x1$, $x2$, ... $x\mathrm{N}$, on a*

$$(6) \quad \mathcal{F}_1 = \mathbf{S}\frac{1}{\zeta}\varepsilon.\upsilon.\Theta_\upsilon\mathcal{F}_1,$$

en étendant la sommation S *à tous les produits υ dont les degrés $\rho1$, $\rho2$, ... $\rho\mathrm{N}$ satisfont à la relation*

$$\rho1 + \rho2 + \cdots + \rho\mathrm{N} = \rho.$$

6. D'après le résultat précédent, on peut obtenir sans difficulté le développement de toute fonction $\mathcal{F}$ suivant les produits υ. En désignant par $[\mathrm{E}]_0$ la valeur d'une fonction E pour $x1_1 = x1_2 = \ldots = x\mathrm{N}_\mathrm{N} = 0$, on est conduit à l'énoncé suivant :

Toute solution algébrique entière des équations (1) *est exprimable par*

$$(7) \quad \mathcal{F} = \mathbf{SS}\frac{1}{\zeta}.\varepsilon.\upsilon[\Theta_\upsilon\mathcal{F}]_0,$$

si l'on rapporte la sommation SS *à toutes les déterminations possibles de υ.*

La formule (7) peut être modifiée de différentes manières, d'après les relations du premier degré qui existent entre les produits υ et, de même, entre les opérateurs Θ_υ. Le développement qui vient d'être indiqué a toutefois une propriété spéciale.

D'après un théorème de Clebsch (*), une fonction du premier degré par rapport à des quantités réelles ξ_1 ξ_2 ... est développable, et d'une seule manière, sous la forme

$$\xi_1\xi_1' + \xi_2\xi_2' + \cdots,$$

de telle sorte que les coefficients ξ_1' ξ_2' ... ont entre eux les relations linéaires semblables à celles qui existent entre ξ_1 ξ_2 ...; un pareil développement est dit *normal* par rapport à ξ_1 ξ_2 ...

A toute relation linéaire entre les υ il correspond une relation semblable

(*) *Ueber eine Fundamentalaufgabe der Invariantentheorie* (Mémoires de la Société des sciences de Goettingue, t. XVII).

Digitized by Google

entre les expressions $[\Theta_\nu \mathcal{F}]_0$. Par conséquent, *la formule* (7) *établit le développement normal de* $\mathcal{F}$ *suivant les fonctions* υ *multipliées par les coefficients numériques* $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\xi}}$.

Remarque. — Les fonctions $\mathcal{F}$ comprennent, comme cas particuliers, les solutions algébriques entières $\mathcal{G}$ des équations

$$(8) \quad \ldots \quad xi_1 \frac{d}{dxi+1_1} + xi_2 \frac{d}{dxi+1_2} + \cdots + xi_\mu \frac{d}{dxi+1_\mu} = 0,$$

$$i = 1, 2, \ldots n-1,$$

n et μ ayant des valeurs quelconques.

En effet, on peut toujours considérer $\mathcal{G}$ comme ne dépendant pas des variables xh_j, pour lesquelles on a $h > n$ ou $j > \mu$; dès lors, si l'on prend pour N le plus grand des nombres n et μ, les fonctions $\mathcal{G}$ satisfont aux équations (1) et sont développables de la même manière que $\mathcal{F}$. En particulier, la formule (6) est applicable aux fonctions $\mathcal{G}$, qui sont homogènes par rapport au système total des variables.

7. D'après la relation (7), on peut écrire le développement de $\mathcal{F}$ en mettant en évidence les coefficients des produits analogues à

$$r = x1_1^{\alpha 1_1}\, x1_2^{\alpha 1_2} \ldots x2_1^{\alpha 2_1} \ldots xN_N^{\alpha N_N}.$$

Soit

$$\nabla_r \mathcal{F} = \frac{d^{\cdots} \mathcal{F}}{dx1_1^{\alpha 1_1}\, dx1_2^{\alpha 1_2} \ldots dxN_N^{\alpha N_N}}$$

le quotient différentiel correspondant à r. Le multiplicateur de $[\nabla_r \mathcal{F}]_0$ dans un terme quelconque $[\Theta_\nu \mathcal{F}]$, est égal au coefficient de r dans la fonction υ. Par conséquent, on a

$$\mathcal{F} = \sum [\nabla_r \mathcal{F}]_0 \cdot \theta_r,$$

si l'on désigne par θ_r la somme des produits obtenus en multipliant chacune des fonctions $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\xi}} \cdot \upsilon$ par le coefficient de r dans $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\xi}} \cdot \upsilon$.

Digitized by Google

Exemple. — Soit

$$\mathcal{F} = x1_1\, x1_2 \begin{vmatrix} x1_3\, x2_3 \\ x1_4\, x2_4 \end{vmatrix}.$$

Les termes

$$r_1 = x1_1\, x1_2\, x1_3\, x2_4, \qquad r_2 = x1_1\, x1_2\, x2_3\, x1_4$$

sont les seuls produits r pour lesquels $[\nabla_r \mathcal{F}]_0$ n'est pas nul; on a

$$[\nabla_{r_1} \mathcal{F}]_0 = 1, \quad [\nabla_{r_2} \mathcal{F}]_0 = -1.$$

Les fonctions υ qui contiennent r_1 ou r_2 sont

$$\upsilon_1 = x1_2\, x1_3 (\pm\, x1_1\, x2_4), \quad \upsilon_2 = x1_1\, x1_3 (\pm\, x1_2\, x2_4), \quad \upsilon_3 = x1_1\, x1_2 (\pm\, x1_3\, x2_4),$$

$$\upsilon_4 = x1_1\, x1_4 (\pm\, x1_2\, x2_3), \quad \upsilon_5 = x1_2\, x1_4 (\pm\, x1_1\, x2_3);$$

les valeurs correspondantes de ε et de ζ sont

$$\varepsilon = 2, \quad \zeta = 8\ (*).$$

Les sommes représentées par θ_r sont actuellement

$$\theta_{r_1} = \frac{1}{4} \upsilon_1 + \frac{1}{4} \upsilon_2 + \frac{1}{4} \upsilon_3,$$

$$\theta_{r_2} = -\frac{1}{4} \upsilon_3 + \frac{1}{4} \upsilon_4 + \frac{1}{4} \upsilon_5,$$

et l'on trouve

$$\theta_{r_1} - \theta_{r_2} = x1_1\, x1_2 (\pm\, x1_3\, x2_4).$$

On a donc

$$\mathcal{F} = [\nabla_{r_1} \mathcal{F}]_0 . \theta_{r_1} + [\nabla_{r_2} \mathcal{F}]_0 . \theta_{r_2},$$

ainsi qu'on le déduit du résultat précédemment indiqué.

(*) On a, d'après ce qui précède (§ 2),

$$\zeta = \left(\frac{d}{dx1_1}\right)^2 \left(\pm \frac{d}{dx1_1} \frac{d}{dx2_2}\right) x1_1^2 (\pm\, x1_1\, x2_2).$$

Digitized by Google

Application à la théorie des formes.

8. Nous nous proposons d'établir, d'après les résultats précédents, la formule de développement de toute fonction invariante comme somme de covariants identiques multipliés par des polaires de covariants primaires (*).

Nous considérerons d'abord les fonctions invariantes exprimables au moyen d'un seul covariant primaire; l'extension au cas général s'obtiendra ensuite sans difficulté.

Soit Ω un opérateur qui, appliqué à une fonction quelconque E, donne pour résultat ΩE une somme de covariants identiques multipliés par des polaires de E relatives aux variables.

Cela posé, soit χ un covariant primaire aux séries de n variables

$$\begin{matrix} x1_1 & x1_2 & \dots & x1_n, \\ x2_1 & x2_2 & \dots & x2_n, \\ . & . & . & . \\ xn-1_1 & \dots & & xn-1_n; \end{matrix}$$

nous supposerons que $\Omega\chi$ est une fonction homogène des séries de n variables $x1, x2, \dots x\mu$, le nombre μ étant quelconque.

En mettant en évidence la source de χ, qui est un semi-invariant ψ, nous poserons

$$\chi = w.\psi + \cdots,$$

$$\Omega\chi = \Omega w.\psi + \cdots,$$

(*) Les covariants primaires sont des fonctions invariantes qui dépendent de $n-1$ séries de n variables $x1, x2, \dots$; ils sont caractérisés par leur propriété de satisfaire aux $n-2$ équations

$$x1\frac{d}{dx2}=0, \quad x2\frac{d}{dx3}=0, \dots \quad xn-2\frac{d}{dxn-1}=0.$$

Toute fonction invariante est une somme de polaires de covariants primaires, multipliées par des covariants identiques (voir *Mémoires* et *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, années 1889 et 1890; *Mémoires de la Société royale des sciences de Liège*, t. XVII, 2e série).

Digitized by Google

et le multiplicateur w pourra s'écrire

$$w = x1_1^{\lambda_1} (\pm x1_1\, x2_2)^{\lambda_2} \dots (\pm x1_1\, x2_2 \dots xn-1_{n-1})^{\lambda_{n-1}}.$$

D'après le sens de la notation $\Omega\chi$, la quantité Ωw est homogène par rapport aux variables x et satisfait aux équations

$$x1_i \frac{d}{dx1_{i+1}} + x2_i \frac{d}{dx2_{i+1}} + \dots + x\mu_i \frac{d}{dx\mu_{i+1}} = 0,$$

$$i = 1,\ 2,\ \dots\ n-1.$$

Par la substitution des lettres xh_j à xj_h, on déduit de Ωw une solution $\mathcal{G}_1$ des équations (8), qui est homogène par rapport au système total des variables

$$\begin{array}{cccc} x1_1 & x1_2 & \dots & x1_\mu, \\ x2_1 & x2_2 & \dots & x2_\mu, \\ . & . & . & . \\ xn_1 & xn_2 & \dots & xn_\mu. \end{array}$$

Les fonctions $\mathcal{G}_1$ sont développables de la même manière que les solutions $\mathcal{F}_1$ des équations (1) [§ 6, *Rem.*]. Par application de la formule (6), on obtient :

$$\mathcal{G}_1 = \mathbf{S}\frac{\varepsilon}{\zeta}(x1_m)^\alpha \dots (\pm x1_p\, x2_q)^\beta \dots (\pm x1_{p'} \dots xn_{t'})^\eta \dots$$

$$\times \left(\frac{d}{dx1_m}\right)^\alpha \dots \left(\pm \frac{d}{dx1_p} \frac{d}{dx2_q}\right)^\beta \dots \left(\pm \frac{d}{dx1_{p'}} \dots \frac{d}{dxn_{t'}}\right)^\eta \dots \mathcal{G}_1,$$

en désignant par $m,\ p,\ \dots\ p',\ \dots\ t'\ \dots$ des nombres compris dans la suite $1,\ 2,\ \dots\ \mu$. Si l'on remplace les lettres xh_j par xj_h, on a :

$$\Omega w = \mathbf{S}\frac{\varepsilon}{\zeta} xm_1^\alpha \dots (\pm xp_1\, xq_2)^\beta \dots (\pm xp'_1 \dots xt'_n)^\eta \dots$$

$$\times \left(\frac{d}{dxm_1}\right)^\alpha \dots \left(\pm \frac{d}{dxp_1} \frac{d}{dxq_2}\right)^\beta \dots \left(\pm \frac{d}{dxp'_1} \dots \frac{d}{dxt'_n}\right)^\eta \dots \Omega w;$$

Digitized by Google

dans cette formule, la sommation S se rapporte à tous les termes qui contiennent les variables au même degré ρ que Ωw; on a ainsi

$$\Sigma\alpha + 2\Sigma\beta + \cdots + n\Sigma\eta = \rho.$$

D'après la formule (5) [voir § 4], on a :

$$xm_1^\alpha \ldots (\pm xp_1 \, xq_2)^\beta \ldots (\pm xp'_1 \ldots xt'_n)^\eta \ldots$$

$$= \frac{1}{\zeta} \cdot \mathrm{O}\, x1_1{}^{\Sigma\alpha} (\pm x1_1 \, x2_2)^{\Sigma\beta} \ldots (\pm x1_1 \ldots xn_n)^{\Sigma\eta},$$

en posant

$$\mathrm{O} = \left(xm \frac{d}{dx1}\right)^\alpha \ldots \left(\pm xp \frac{d}{dx1} xq \frac{d}{dx2}\right)^\beta \ldots \left(\pm xp' \frac{d}{dx1} \ldots xt' \frac{d}{dxn}\right)^\eta \ldots$$

On peut donc écrire

$$(9) \ldots\ldots \left\{ \begin{aligned} \Omega w = & \,\mathrm{S} \frac{\varepsilon}{\zeta^2} \cdot \mathrm{O}\, x1_1^{\Sigma\alpha} (\pm x1_1 \, x2_2)^{\Sigma\beta} \ldots (\pm x1_1 \ldots xn_n)^{\Sigma\eta} \\ & \times \left(\frac{d}{dxm_1}\right)^\alpha \ldots \left(\pm \frac{d}{dxp'_1} \cdots \frac{d}{dxt'_n}\right)^\eta \ldots \Omega w. \end{aligned} \right.$$

9. Nous transformerons la relation (9) en faisant usage des propriétés suivantes, qui ont été établies antérieurement (*).

Lemme I. — Entre les coefficients de covariants primaires linéairement indépendants, il n'existe aucune relation du premier degré.

Lemme II. — Toute fonction analogue à $\Omega\chi$ est nulle identiquement, quand elle ne dépend pas de la source de χ.

Nous définirons encore l'opération O' par la formule

$$\mathrm{O}' = \left(x1 \frac{d}{dxm}\right)^\alpha \ldots \left(\pm x1 \frac{d}{dxp} x2 \frac{d}{dxq}\right)^\beta \ldots \left(\pm x1 \frac{d}{dxp'} \ldots xn \frac{d}{dxt'}\right)^\eta \ldots$$

(*) Voir notre *Essai*..., pp. 103 et 106.

Digitized by Google

ou par

$$(10) \quad \ldots\ldots\ldots \quad O' = (\pm x1_1\, x2_2 \ldots xn_n)^{\Sigma\eta} . O'',$$

en prenant

$$O'' = \left(x1 \frac{d}{dxm}\right)^\alpha .. \left(\pm x1 \frac{d}{dxp}\, x2 \frac{d}{dxq}\right)^\beta \ldots \left(\pm \frac{d}{dxp'_1} \frac{d}{dxq'_2} \cdots \frac{d}{dxt'_n}\right)^\eta \ldots;$$

de la même manière que pour O, nous conviendrons de considérer les produits de dérivées premières comme représentant des dérivées multiples d'ordre $\Sigma\alpha + 2\Sigma\beta + \cdots + n\Sigma\eta = \rho$. Nous ferons encore observer que l'opération O′ s'obtient en remplaçant dans O les symboles $xh \frac{d}{dxk}$ par $xk \frac{d}{dxh}$.

10. La fonction $O''\Omega\chi$ est invariante; elle dépend des seules variables $x1, x2 \ldots xn - 1$, car les dérivées multiples de $\Omega\chi$ qui servent à l'exprimer sont d'ordre ρ, précisément égal au degré total de Ωw et, par suite, de $\Omega\chi$.

De plus, $O''\Omega\chi$ satisfait aux équations caractéristiques des covariants primaires, savoir :

$$x1 \frac{d}{dx2} = 0, \quad x2 \frac{d}{dx3} = 0, \ldots, \quad xn - 2 \frac{d}{dxn - 1} = 0.$$

Ainsi, $O''\Omega\chi$ est un covariant primaire exprimable linéairement au moyen des coefficients de χ; d'après le lemme I, cette fonction est le produit de χ par un facteur numérique e qui, du reste, pourrait être nul.

D'après la formule (10), nous écrirons

$$O'\Omega\chi = e.\chi.(\pm x1_1\, x2_2 \ldots xn_n)^{\Sigma\eta};$$

en considérant de part et d'autre le multiplicateur de ψ, nous obtenons

$$(9') \quad \ldots\ldots\ldots \quad O'\Omega w = e.w.(\pm x1_1\, x2_2 \ldots xn_n)^{\Sigma\eta};$$

par l'identification des coefficients des plus hautes puissances de $x1_1\, x2_2 \ldots xn_n$, on trouve ensuite

$$e = \left(\frac{d}{dxm_1}\right)^\alpha \ldots \left(\pm \frac{d}{dxp_1} \frac{d}{dxq_2}\right)^\beta \ldots \left(\pm \frac{d}{dxp'_1} \cdots \frac{d}{dxt'_n}\right)^\eta \ldots \Omega w.$$

Digitized by Google

Si l'on se reporte à l'expression de w (§ 8), on voit que le second membre de la formule (9′) est le produit de e par des puissances de $x1_1$, $(\pm x1_1 x2_2)$...; d'autre part, la fonction $O'\Omega w$ est, par rapport aux variables $x1$, $x2$, ..., des degrés

$$\Sigma\alpha + \Sigma\beta + \cdots + \Sigma\eta,$$

$$\Sigma\beta + \cdots + \Sigma\eta, \text{ etc.}$$

On peut donc écrire, d'après la valeur de e,

$$O'\Omega w = x1_1^{\Sigma\alpha}(\pm x1_1 x2_2)^{\Sigma\beta} \dots (\pm x1_1 \dots xn_n)^{\Sigma\eta}$$
$$\times \left(\frac{d}{dxm_1}\right)^{\alpha} \cdots \left(\pm \frac{d}{dxp'_1} \cdots \frac{d}{dxt'_n}\right)^{\eta} \dots \Omega w.$$

En conséquence, l'équation (9) peut être remplacée par

$$(9'') \quad \dots\dots\dots\dots \quad \Omega w = \mathbf{S}\frac{\varepsilon}{\zeta^2}.OO'\Omega w.$$

11. Les opérations O, O′ sont équivalentes à des combinaisons d'opérations polaires simples, analogues à $xh\frac{d}{dxk}$. Par suite, les fonctions $OO'\Omega\chi$ sont exprimables comme sommes de covariants identiques multipliés par des polaires de χ. La différence

$$(10) \quad \dots\dots\dots\dots \quad \Omega\chi - \mathbf{S}\frac{\varepsilon}{\zeta^2}.OO'\Omega\chi$$

est donc une fonction analogue à $\Omega\chi$, que nous pourrons représenter par $\Omega'\chi$.

La quantité $\Omega'\chi$ est indépendante de la source ψ du covariant primaire χ, ainsi qu'il résulte de la formule (9″); d'après le lemme II (§ 9), elle est nulle identiquement; on a donc :

$$(11) \quad \dots\dots\dots\dots \quad \Omega\chi = \mathbf{S}\frac{1}{\zeta^2}\varepsilon.OO'\Omega\chi.$$

12. Toute fonction invariante φ est une somme de quantités $\Omega\chi$, de

mêmes degrés par rapport aux variables (*). En additionnant membre à membre des équations analogues à (11), on obtient

$$(12) \qquad \varphi = \mathrm{S}\frac{1}{\zeta^2}\varepsilon.OO'\varphi;$$

comme précédemment, la sommation S se rapporte à tous les opérateurs correspondants O, O′, pour lesquels la somme

$$\Sigma\alpha + 2\Sigma\beta + \cdots + n\Sigma\eta$$

est égale au degré ρ de φ par rapport aux variables.

D'après la formule (10), on a

$$O'\varphi = (\pm x1_1\, x2_2 \ldots xn_n)^{\Sigma\eta}.O''\varphi;$$

les fonctions invariantes $O''\varphi$ dépendent des seules variables $x1, x2, \ldots xn - 1$, et elles satisfont aux $n - 2$ équations

$$xi\frac{d}{dxi+1} = 0, \quad (i = 1, 2, \ldots n - 2);$$

par suite, les $O''\varphi$ sont des covariants primaires (**).

Comme nous l'avons déjà fait observer, les opérateurs O peuvent être remplacés par des agrégats de polaires analogues à $xh\frac{d}{dxk}$. En conséquence, *l'équation (12) établit le développement explicite de toute fonction invariante φ comme somme de covariants identiques multipliés par des polaires de covariants primaires $O''\varphi$.*

Remarques. — I. Les fonctions $O'\varphi$ ont entre elles des relations du premier degré qui permettent de modifier de différentes manières l'équation (12). Toutefois, il y a lieu d'observer qu'il existe des relations linéaires semblables entre les opérateurs O et entre les opérateurs O′; dès lors, la formule (12) présente une certaine analogie avec le *développement normal* d'une fonction

(*) Voir la note de la page 13.

(**) Nous avons déjà indiqué cette propriété au paragraphe 10, pour le cas de $\varphi = \Omega\chi$.

Digitized by Google

du premier degré, par rapport à un système de quantités linéairement dépendantes. (Voir § 7.)

II. Si la fonction invariante φ contient seulement deux séries de variables binaires $x1$, $x2$, $(\mu = 2,\ n = 2)$, les covariants primaires de réduction sont représentés par

$$O''\varphi = \left(x1\frac{d}{dx1}\right)^{\alpha}\left(x1\frac{d}{dx2}\right)^{\alpha'}\left(\pm\frac{d}{dx1_1}\frac{d}{dx2_2}\right)^{\beta}\varphi;$$

ils ne diffèrent que par des facteurs numériques des fonctions invariantes

$$\chi = \left(x1\frac{d}{dx2}\right)^{\alpha'}\left(\pm\frac{d}{dx1_1}\frac{d}{dx2_2}\right)^{\beta}\varphi.$$

On retrouve donc ce résultat connu, que *la fonction invariante φ à deux séries de variables binaires* x1, x2, *est une somme de puissances du covariant identique* $(\pm x1_1\, x2_2)$ *multipliées par des polaires des fonctions invariantes* χ. (Voir Clebsch, *Theorie der algebraischen Formen*, p. 19.)

Exemple. — Considérons, pour le cas de $n > 4$, la fonction invariante

$$\varphi = a1_{x1}(\pm a2_{x2}\, a3_{x3}\, a4_{x4}).$$

Les seuls opérateurs O', pour lesquels $O'\varphi$ est différent de zéro, sont représentés par

$$O'_1 = x1\frac{d}{dx1}\left(\pm x1\frac{d}{dx2}\ x2\frac{d}{dx3}\ x3\frac{d}{dx4}\right),$$

$$O'_2 = x1\frac{d}{dx2}\left(\pm x1\frac{d}{dx1}\ x2\frac{d}{dx3}\ x3\frac{d}{dx4}\right),$$

$$O'_3 = x1\frac{d}{dx3}\left(\pm x1\frac{d}{dx1}\ x2\frac{d}{dx2}\ x3\frac{d}{dx4}\right),$$

$$O'_4 = x1\frac{d}{dx4}\left(\pm x1\frac{d}{dx1}\ x2\frac{d}{dx2}\ x3\frac{d}{dx3}\right),$$

$$O'_5 = \left(\pm x1\frac{d}{dx1}\ x2\frac{d}{dx2}\ x3\frac{d}{dx3}\ x4\frac{d}{dx4}\right).$$

Digitized by Google

Si l'on prend

$$\chi_1 = a1_{x1}(\pm a2_{x1}\, a3_{x2}\, a4_{x3}),$$

$$\chi_2 = (\pm a1_{x1}\, a2_{x2}\, a3_{x3}\, a4_{x4}),$$

on a

$$O'_1\varphi = 6\chi_1,\quad O'_2\varphi = 2\chi_1,\quad O'_3\varphi = -2\chi_1,$$

$$O'_4\varphi = 2\chi_1 \quad \text{et} \quad O'_5\varphi = 6\chi_2.$$

Les opérations O correspondant à O'_1, O'_2 ... s'obtiennent en remplaçant dans O'_1, O'_2 ... les symboles $xh\frac{d}{dxk}$ par $xk\frac{d}{dxh}$. Ainsi, l'on a :

$$O_1 = x1\frac{d}{dx1}\left(\pm x2\frac{d}{dx1}\; x3\frac{d}{dx2}\; x4\frac{d}{dx3}\right), \text{etc.},$$

$$O_5 = \left(\pm x1\frac{d}{dx1}\; x2\frac{d}{dx2}\; x3\frac{d}{dx3}\; x4\frac{d}{dx4}\right).$$

Les valeurs de ζ sont données par

$$\zeta_1 = \zeta_2 = \zeta_3 = \zeta_4 = 8,\quad \zeta_5 = 24;$$

enfin, les multiplicateurs ε sont tous égaux à l'unité.

D'après la formule (12), on doit avoir :

$$\varphi = \frac{1}{8^2}[6O_1 + 2O_2 - 2O_3 + 2O_4]\, a1_{x1}(\pm a2_{x1}\, a3_{x2}\, a4_{x3})$$
$$+ \frac{6}{(24)^2} . O_5(\pm a1_{x1}\, a2_{x2}\, a3_{x3}\, a4_{x4});$$

on vérifie facilement l'exactitude de ce résultat par un calcul qu'il nous paraît inutile de développer. Les covariants primaires $O''\varphi$ se réduisent actuellement à χ_1 et χ_2.

INTÉGRALES EULÉRIENNES OU ELLIPTIQUES;

PAR

Eugène CATALAN,

ASSOCIÉ DE L'ACADÉMIE.

(Présenté à la Classe des Sciences, dans la séance du 6 février 1892.)

Digitized by Google

Digitized by Google

INTÉGRALES EULÉRIENNES OU ELLIPTIQUES.

I

Une vieille formule.

1. En 1839, dans le *Journal de Liouville,* j'ai indiqué l'application suivante, très particulière, d'une méthode relative aux *intégrales multiples :*

$$A = \int_0^1 dx \sqrt{\frac{1-x^2}{1+x^2}} = \frac{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2}{4\sqrt{2\pi}} - \frac{\pi\sqrt{2\pi}}{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2}. \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Pour vérifier cette formule (1), on peut poser

$$x = \theta^{\frac{1}{4}}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

En effet, l'intégrale A devient

$$\int_0^1 \theta^{-\frac{3}{4}} d\theta \left(1 - \theta^{\frac{1}{2}}\right)(1-\theta)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{4}\int_0^1 \theta^{-\frac{3}{4}} d\theta (1-\theta)^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{4}\int_0^1 \theta^{-\frac{1}{4}} d\theta (1-\theta)^{-\frac{1}{2}} \ (^*);$$

ou

$$A = \frac{1}{4}\left[\frac{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)} - \frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{5}{4}\right)}\right];$$

(*) A cause de

$$\sqrt{\frac{1-x^2}{1+x^2}} = \frac{1-x^2}{\sqrt{1-x^4}}.$$

Digitized by Google

ou, plus simplement,

$$A = \sqrt{\pi}\left[\frac{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}{4\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)} - \frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Mais, par une formule d'Euler, bien connue,

$$\Gamma\left(\frac{3}{4}\right) = \frac{\pi\sqrt{2}}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}.$$

Donc enfin,

$$A = \sqrt{\pi}\left[\frac{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2}{4\pi\sqrt{2}} - \frac{\pi\sqrt{2}}{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2}\right] = \frac{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2}{4\sqrt{2\pi}} - \frac{\pi\sqrt{2\pi}}{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

2. *Suite.* On sait, au moins depuis Legendre, que

$$\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2 = 4\sqrt{\pi}\,F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) \text{ (*)}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Par conséquent, la formule (1) peut être écrite ainsi :

$$\int_0^1 dx \sqrt{\frac{1-x^2}{1+x^2}} = \frac{F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)}{\sqrt{2}} - \frac{\pi\sqrt{2}}{4F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

3. Ce n'est pas tout.

Le beau théorème de Legendre, exprimé par l'équation

$$F_1(b)E_1(c) + E_1(b)F_1(c) - F_1(b)F_1(c) = \frac{\pi}{2},$$

donne, si l'on prend $b = c = \sqrt{\frac{1}{2}}$,

$$2F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) - \left[F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)\right]^2 = \frac{\pi}{2}. \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

(*) *Mélanges mathématiques*, t. I, p. 395.

Digitized by Google

Éliminant π, entre les égalités (5) et (6), on trouve

$$\int_0^1 dx \sqrt{\frac{1-x^2}{1+x^2}} = \sqrt{2}\left[F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) - E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)\right]; \quad \ldots \quad (7)$$

résultat simple et connu (*).

II

Produit de deux intégrales eulériennes.

4. Après avoir lu l'ancienne Note citée, un homme que je crois fort à plaindre (**), a considéré les intégrales

$$B = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1-x^4}}, \quad C = \int_0^1 \frac{x^2 dx}{\sqrt{1-x^4}}. \quad \ldots \quad (8)$$

Ayant développé les différentielles, il a calculé, *numériquement*, B et C; et il est arrivé à ces deux relations, très simples :

$$B - C = A, \quad \ldots \quad (9)$$

$$BC = \frac{\pi}{4}. \quad \ldots \quad (10)$$

La première est évidente. Pour vérifier la seconde, il suffit d'employer la transformation (2). On trouve ainsi :

$$B = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}, \quad C = \sqrt{\pi} \frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}; \quad \ldots \quad (11)$$

(*) Bierens de Haan (seconde édition), T. 35.

(**) Je ne l'ai jamais vu. Ses lettres, en général très incohérentes, portaient, le plus souvent, la signature *Albert*.

Digitized by Google

5. *Généralisation.* Soient

$$P = \int_0^1 x^p dx\,(1 - x^n)^{-\frac{1}{2}}, \qquad Q = \int_0^1 x^q dx\,(1 - x^n)^{-\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

Posant

$$x = \theta^{\frac{1}{n}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

on a :

$$P = \frac{1}{n}\int_0^1 \theta^{\frac{p+1}{n}-1} d\theta\,(1 - \theta)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{n}\,B\left(\frac{p+1}{n}, \frac{1}{2}\right), \quad \ldots\ldots \quad (14)$$

$$Q = \frac{1}{n}\int_0^1 \theta^{\frac{q+1}{n}-1} d\theta\,(1 - \theta)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{n}\,B\left(\frac{q+1}{n}, \frac{1}{2}\right); \quad \ldots\ldots \quad (15)$$

puis, à cause de

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}, \qquad B\left(\frac{p+1}{n}, \frac{1}{2}\right) = \frac{\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2}\right)}, \text{ etc. :}$$

$$PQ = \frac{\pi}{n^2}\,\frac{\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)\Gamma\left(\frac{q+1}{n}\right)}{\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{q+1}{n} + \frac{1}{2}\right)}. \quad \ldots\ldots \quad (16)$$

6. *Suite.* Si l'on prend

$$q = p + \frac{n}{2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

d'où résulte

$$\frac{q+1}{n} = \frac{p+1}{n} + \frac{1}{2},$$

Digitized by Google

la relation (16) se réduit à

$$PQ = \frac{\pi}{n^2} \frac{\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)}{\Gamma\left(\frac{x+1}{n} + 1\right)};$$

c'est-à-dire, à

$$PQ = \frac{\pi}{n(p+1)} \cdot \quad \quad (18)$$

7. Plus généralement, soit

$$\frac{q+1}{n} = \frac{p+1}{n} + \frac{1}{2} + k, \quad \quad (19)$$

k étant un nombre entier, différent de zéro. La fraction qui entre dans l'égalité (16) est

$$\frac{\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2} + k\right)}{\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + 1 + k\right)}.$$

Or :

$$\frac{\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + 1 + k\right)}{\Gamma\left(\frac{p+1}{n}\right)} = \frac{p+1}{n}\left(\frac{p+1}{n} + 1\right) \cdots \left(\frac{p+1}{n} + k\right),$$

$$\frac{\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2} + k\right)}{\Gamma\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2}\right)} = \left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2}\right)\left(\frac{p+1}{n} + \frac{3}{2}\right) \cdots \left(\frac{p+1}{n} + \frac{2k-1}{2}\right),$$

Donc

$$PQ = \frac{\pi}{n^2} \frac{\left(\frac{p+1}{n} + \frac{1}{2}\right)\left(\frac{p+1}{n} + \frac{3}{2}\right) \cdots \left(\frac{p+1}{n} + \frac{2k-1}{2}\right)}{\frac{p+1}{n}\left(\frac{p+1}{n} + 1\right) \cdots \left(\frac{p+1}{n} + k\right)} \quad \quad (20)$$

8. *Application.* Soient : $p = 5$, $n = 8$, $k = 3$; et, par conséquent, $q = 33$.

Digitized by Google

D'après les formules (14), (15) :

$$P = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{5}{4}\right)}, \qquad Q = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{\Gamma\left(\frac{11}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{19}{4}\right)};$$

puis

$$PQ = \frac{\pi}{64} \frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)\Gamma\left(\frac{17}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{5}{4}\right)\Gamma\left(\frac{19}{4}\right)} = \frac{\pi}{64} \frac{\frac{13}{4}\cdot\frac{9}{4}\cdot\frac{5}{4}}{\frac{15}{4}\cdot\frac{11}{4}\cdot\frac{7}{4}\cdot\frac{3}{4}};$$

ou enfin

$$PQ = \frac{\pi}{16}\frac{13}{77}.$$

C'est le résultat auquel conduit la formule (20).

9. *Valeur de* $E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)$. Legendre a donné, peut-être après Euler, l'expression de $F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)$, en fonction de $\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)$; savoir :

$$F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}}\left[\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)\right]^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

J'ignore si cet illustre Géomètre a résolu la même question pour l'intégrale complète $E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)$. Du reste, le second problème se ramène, immédiatement, au premier.

En effet,

$$2F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) - \left[F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)\right]^2 = \frac{\pi}{2}; \quad \ldots\ldots (6)$$

donc

$$E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{2}F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) + \frac{\pi}{4F_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)},$$

ou

$$E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{8\sqrt{\pi}}\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2 + \frac{\pi\sqrt{\pi}}{\left[\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\right]^2} \quad \ldots\ldots (21)$$

Digitized by Google

Si l'on a égard à la relation

$$\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)=\pi\sqrt{2},$$

on transforme ainsi le second membre :

$$\frac{1}{8\sqrt{\pi}}\pi\sqrt{2}\frac{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}+\frac{\pi\sqrt{\pi}\,\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\pi\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2\pi}}{8}\frac{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}+\sqrt{\frac{\pi}{2}}\frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)};$$

d'où résulte enfin

$$E_1\left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)=\frac{\sqrt{2\pi}}{8}\left[\frac{\Gamma\left(\frac{1}{3}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}+4\frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}\right]; \quad \ldots\ldots \quad (22)$$

expression assez simple (*).

III

Produits indéfinis.

10. Dans les *Recherches sur la constante* G (**), on trouve les formules importantes :

$$\Gamma(p+1)=\prod_{\lambda=1}^{\lambda=\infty}\frac{(\lambda+1)^p}{\lambda^{p-1}(\lambda+p)}\ (^{***}), \quad \ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

$$\frac{B(p,q+m)}{B(q,p+m)}=\prod_0^\infty\frac{(q+\lambda)(p+m+\lambda)}{(p+\lambda)(q+m+\lambda)}\ (^{IV}). \quad \ldots\ldots \quad (24)$$

Il est facile de simplifier la seconde, et d'en conclure le développement de $B(p, q)$, en produit indéfini.

(*) Elle m'a été suggérée par l'infortuné Albert; mais il était arrivé à un résultat inexact.

(**) *Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, 1882.

(***) Page 23. p est une quantité quelconque, *positive;* λ est un nombre entier.

(IV) Page 14. m, p et q sont *positifs*.

Digitized by Google

En effet, par un théorème d'Euler, le premier membre équivaut à $\frac{B(p,m)}{B(q,m)}$. Ainsi

$$\frac{B(p,m)}{B(q,m)} = \prod_0^\infty \frac{(q+\lambda)(p+m+\lambda)}{(p+\lambda)(q+m+\lambda)}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (25)$$

Dans cette égalité, prenons $q=1$. Le diviseur $B(1,m) = \int_0^1 \theta^{m-1}d\theta = \frac{1}{m}$. Donc, par le changement de m en q :

$$B(p,q) = \frac{1}{q}\prod_0^\infty \frac{(1+\lambda)(p+q+\lambda)}{(p+\lambda)(1+q+\lambda)}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (26)$$

formule que nous nous proposions de trouver.

11. *Suite.* Un simple changement de lettres donne

$$B(p,q) = \frac{1}{p}\prod_0^\infty \frac{(1+\lambda)(p+q+\lambda)}{(q+\lambda)(1+p+\lambda)};$$

puis, par division,

$$\frac{p}{q} = \prod_0^\infty \frac{(p+\lambda)(1+q+\lambda)}{(q+\lambda)(1+p+\lambda)}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

identité presque évidente.

12. *Remarque.* Dans la formule (26), le premier facteur du produit indéfini est $\frac{p+q}{q(1+p)}$. Ainsi

$$B(p,q) = \frac{p+q}{pq(1+q)}\prod_1^\infty \frac{(1+\lambda)(p+q+\lambda)}{(p+\lambda)(1+q+\lambda)}. \quad \ldots\ldots \quad (28)$$

IV

Développements remarquables.

13. Si, dans la relation (25), on fait $m=p$, $q=\frac{1}{2}$, elle devient

$$\frac{B(p,p)}{B\left(p,\frac{1}{2}\right)} = \prod_0^\infty \frac{\left(\frac{1}{2}+\lambda\right)(2p+\lambda)}{(p+\lambda)\left(p+\frac{1}{2}+\lambda\right)} \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

Mais, d'après un célèbre théorème de Legendre,

$$\frac{B(p, p)}{B\left(p, \frac{1}{2}\right)} = \frac{1}{2^{2p-1}} \text{(*)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

Conséquemment,

$$2^{2p-1} = \prod_0^\infty \frac{(p+\lambda)(2p+1+2\lambda)}{(1+2\lambda)(2p+\lambda)}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

et, en particulier,

$$2 = \prod_0^\infty \frac{(1+\lambda)(3+2\lambda)}{(p+2\lambda)(2+\lambda)}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

14. La formule (31) donne

$$2^{2p+1} = \prod_0^\infty \frac{(p+1+\lambda)(2p+3+2\lambda)}{(1+2\lambda)(2p+2+\lambda)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (31^{bis})$$

Donc, par division,

$$4 = \prod_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{(p+1+\lambda)(2p+3+2\lambda)(2p+\lambda)}{(p+\lambda)(2p+1+\lambda)(2p+2+\lambda)}. \quad \ldots\ldots \quad (33)$$

Dans cette nouvelle relation, *le second membre est indépendant du paramètre* p; ce qui est assez remarquable.

En particulier, si $p = 1$:

$$4 = \prod_0^\infty \frac{(2+\lambda)^2(3+2\lambda)}{(1+\lambda)(3+\lambda)(4+\lambda)} \text{(**)}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (34)$$

15. Dans l'égalité

$$\frac{B(p, p)}{B\left(p, \frac{1}{2}\right)} = \frac{1}{2^{2p-1}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

(*) Serret, *Notes sur le Calcul intégral de Lacroix*, p. 328.

(**) Si, λ ayant une valeur donnée, *finie*, on fait croître p indéfiniment, la fraction considérée *tend vers l'unité*. Nous pourrions discuter ce cas singulier; mais nous nous rappelons un vers de Boileau.

Digitized by Google

prenons $p = \frac{1}{2} \pm k$ (*); nous aurons :

$$\frac{B\left(\frac{1}{2}+k, \frac{1}{2}+k\right)}{B\left(\frac{1}{2}+k, \frac{1}{2}\right)} = \frac{1}{2^{2k}},$$

$$\frac{B\left(\frac{1}{2}-k, \frac{1}{2}-k\right)}{B\left(\frac{1}{2}-k, \frac{1}{2}\right)} = 2^{2k};$$

et, par conséquent,

$$\frac{B\left(\frac{1}{2}+k, \frac{1}{2}+k\right)}{B\left(\frac{1}{2}+k, \frac{1}{2}\right)} \frac{B\left(\frac{1}{2}-k, \frac{1}{2}-k\right)}{B\left(\frac{1}{2}-k, \frac{1}{2}\right)} = 1. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

Autrement dit : *la fraction* $\dfrac{B\left(\frac{1}{2}+k, \frac{1}{2}+k\right)}{B\left(\frac{1}{2}+k, \frac{1}{2}\right)}$ *se change en son inverse, quand on y remplace* k *par* — k $\left(k < \frac{1}{2}\right)$.

16. De la formule (28), on déduit

$$\frac{B(p, q)}{B(p', q')} = \frac{p+q}{p'+q'} \frac{p'q'}{pq} \prod_{1}^{\infty} \frac{(p+q+\lambda)(p'+\lambda)(q'+\lambda)}{(p'+q'+\lambda)(p+\lambda)(q+\lambda)};$$

et, si

$$p + q = p' + q' = s : \quad \ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

$$\frac{B(p, q)}{B(p', q')} = \frac{p'q'}{pq} \prod_{1}^{\infty} \frac{(p'+\lambda)(q'+\lambda)}{(p+\lambda)(q+\lambda)};$$

ou, plus simplement,

$$\frac{B(p, q)}{B(p', q')} = \prod_{0}^{\infty} \frac{(p'+\lambda)(q'+\lambda)}{(p+\lambda)(q+\lambda)} \quad \ldots\ldots \quad (37)$$

(*) Le nombre k doit être inférieur à $\frac{1}{2}$.

Digitized by Google

17. *Suite.* A cause de la condition (36), le premier membre de la dernière égalité est

$$\frac{\Gamma(p)\,\Gamma(q)}{\Gamma(p')\,\Gamma(q')}.$$

Si s est un nombre *entier*, le produit des fractions $\frac{p'+\lambda}{p+\lambda}$, entrant dans le second membre, est

$$\prod_0^\infty \frac{p'+\lambda}{p+\lambda} = \prod_0^{s-1} \times \prod_s^\infty$$

$$= \frac{p'(p'+1)(p'+2)\ldots(p'+s-1)}{p(p+1)(p+2)\ldots(p+s-1)} \prod_0^\infty \frac{p'+\lambda}{p+\lambda} = \frac{\Gamma(p'+s)\,\Gamma(p)}{\Gamma(p+s)\,\Gamma(p')} \times \prod_s^\infty \frac{p'+\lambda}{p+\lambda}.$$

De même,

$$\prod_0^\infty \frac{q'+\lambda}{q+\lambda} = \frac{\Gamma(q'+s)}{\Gamma(q+s)} \frac{\Gamma(q)}{\Gamma(q')} \prod_0^\infty \frac{q'+\lambda}{q+\lambda}.$$

Donc la formule (37) devient, après suppression d'un facteur,

$$1 = \frac{\Gamma(p'+s)}{\Gamma(p+s)} \frac{\Gamma(q'+s)}{\Gamma(q+s)} \prod_s^\infty \frac{(p'+\lambda)(q'+\lambda)}{(p+\lambda)(q+\lambda)},$$

ou

$$\frac{\Gamma(p+s)\,\Gamma(q+s)}{\Gamma(p'+s)\,\Gamma(q'+s)} = \prod_s^\infty \frac{(p'+\lambda)(q'+\lambda)}{(p+\lambda)(q+\lambda)} \quad \ldots\ldots \quad (38)$$

Si, par exemple, $p = 3$, $q = 9$, $p' = 5$, $q' = 7$, $s = 12$:

$$\prod_{12}^\infty \frac{(5+\lambda)(7+\lambda)}{(3+\lambda)(9+\lambda)} = \frac{\Gamma(15)\,\Gamma(21)}{\Gamma(17)\,\Gamma(19)} = \frac{19}{12}.$$

18. Dans les formules (34), (37), supposons $s = 1$; d'où résultent :

$$q = 1 - p, \qquad q' = 1 - p'.$$

Nous trouvons

$$\frac{B(p, 1-p)}{B(p', 1-p')} = \prod_0^\infty \frac{(p'+\lambda)(1-p'+\lambda)}{(p+\lambda)(1-p+\lambda)}.$$

Le premier membre égale

$$\frac{\Gamma(p)\,\Gamma(1-p)}{\Gamma(p')\,\Gamma(1-p')};$$

Digitized by Google

ou, d'après un théorème d'Euler, déjà cité : $\frac{\sin p'\pi}{\sin p\pi}$. Conséquemment,

$$\frac{\sin p'\pi}{\sin p\pi} = \prod_0^\infty \frac{(p'+\lambda)(1-p'+\lambda)}{(p+\lambda)(1-p+\lambda)}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (39)$$

ou

$$\frac{\sin p'\pi}{\sin p\pi} = \frac{p'(1-p')}{p(1-p)} \times \frac{(p'+1)(2-p')}{(p+1)(2-p)} \times \frac{(p'+2)(3-p')}{(p+2)(3-p)} \times \cdots \quad \ldots \quad (40)$$

Ainsi qu'on pouvait le prévoir, cette égalité est *identique,* en vertu des développements connus :

$$\sin p'\pi = p'\pi(1-p'^2)\left(1-\frac{p'^2}{4}\right)\left(1-\frac{p'^2}{9}\right)\left(1-\frac{p'^2}{16}\right)\cdots,$$

$$\sin p\pi = p\pi(1-p^2)\left(1-\frac{p^2}{4}\right)\left(1-\frac{p^2}{9}\right)\left(1-\frac{p^2}{16}\right)\cdots$$

19. *Un développement de* $\frac{\pi}{4}$. Reprenons les formules

$$B = \frac{1}{4}\frac{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)}, \qquad C = \frac{1}{4}\frac{\Gamma\left(\frac{3}{4}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{4}\right)}, \quad \ldots \ldots \quad (11)$$

$$BC = \frac{\pi}{4}; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (10)$$

d'où résulte

$$4\pi = B\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right) B\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{2}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (41)$$

En général,

$$B(p,q) = \frac{1}{q}\prod_0^\infty \frac{(1+\lambda)(p+q+\lambda)}{(p+\lambda)(1+q+\lambda)}. \quad \ldots \ldots \ldots \quad (26)$$

Donc :

$$B\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right) = 2\prod_0^\infty \frac{(1+\lambda)\left(\frac{3}{4}+\lambda\right)}{\left(\frac{1}{4}+\lambda\right)\left(\frac{3}{2}+\lambda\right)},$$

$$B\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{2}\right) = 2\prod_0^\infty \frac{(1+\lambda)\left(\frac{3}{4}+\lambda\right)}{\left(\frac{3}{4}+\lambda\right)\left(\frac{3}{2}+\lambda\right)};$$

Digitized by Google

puis

$$\frac{\pi}{4}=\prod_{0}^{\infty}\frac{(1+\lambda)^2(3+4\lambda)}{(3+2\lambda)^2(1+4\lambda)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (42)$$

Tel est le développement cherché. On peut en trouver une infinité d'autres (*).

20. *Simplification d'une formule.* Il ne sera pas inutile de vérifier, *a posteriori*, quelqu'une des égalités précédentes; par exemple, celle-ci :

$$4=\prod_{0}^{\infty}\frac{(p+1+\lambda)(2p+\lambda)(2p+3+2\lambda)}{(p+\lambda)(2p+2+\lambda)(2p+1+2\lambda)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (33)$$

A cet effet, représentons par $P_1, P_2, P_3, \ldots$ les produits que l'on obtient en prenant, dans le second membre, 1, 2, 3 ... facteurs. On trouve ainsi :

pour $\lambda=0$,

$$P_1=2\frac{(p+1)(2p+3)}{(2p+1)(2p+2)},$$

pour $\lambda=1$,

$$P_2=2\frac{(p+2)(2p+5)}{(2p+2)(2p+3)};$$

pour $\lambda=2$,

$$P_3=2\frac{(p+3)(2p+7)}{(2p+3)(2p+4)};$$

pour $\lambda=3$,

$$P_4=2\frac{(p+4)(2p+9)}{(2p+4)(2p+5)}.$$

Ces valeurs sont comprises dans la formule

$$P_{\lambda+1}=2\frac{(p+\lambda+1)(2p+2\lambda+3)}{(2p+\lambda+1)(2p+\lambda+2)} \ (^{**}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (43)$$

Ainsi, l'égalité (33) est réductible à

$$2=\lim\frac{(p+1+\lambda)(2p+3+2\lambda)}{(2p+1+\lambda)(2p+2+\lambda)}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (44)$$

et celle-ci est évidente.

(*) *Recherches sur la constante* G, p. 15.

(**) Au moyen du procédé connu, on prouve qu'elle est générale.

Digitized by Google

21. *Remarque.* Dans le second membre de l'égalité (33), le produit des λ premiers facteurs est

$$\mathrm{L} = \frac{(p+1)\,2p\,(2p+3)}{p\,(2p+2)\,(2p+1)} \times \frac{(p+2)(2p+1)(2p+5)}{(p+1)(2p+3)(2p+3)} \times \cdots$$
$$\times \frac{(p+\lambda)(2p+\lambda-1)(2p+2\lambda+1)}{(p+\lambda-1)(2p+\lambda+1)(2p+2\lambda-1)}.$$

D'après ce que l'on vient de voir, ce produit est, *identiquement*, égal à P_λ. En d'autres termes,

$$\mathrm{L} = 2\frac{(p+\lambda)(2p+1+2\lambda)}{(2p+\lambda)(2p+1+\lambda)} \text{ (**)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (45)$$

22. *Autre limite.* Reprenons la formule (31^{bis}), écrite ainsi :

$$2^{2p+1} = \prod_0^\infty \frac{(p+1+\lambda)\left(p+\frac{3}{2}+\lambda\right)}{(1+2\lambda)\left(p+1+\frac{\lambda}{2}\right)}.$$

Soient P_1, P_2, P_3, ... les valeurs successives du produit. Opérant comme au paragraphe 20, on trouve :

$$\mathrm{P}_1 = \frac{p+\frac{3}{2}}{1}, \qquad \mathrm{P}_2 = \frac{(p+2)\left(p+\frac{5}{2}\right)}{1\,.\,3}, \qquad \mathrm{P}_3 = \frac{\left(p+\frac{5}{2}\right)(p+3)\left(p+\frac{7}{2}\right)}{1\,.\,3\,.\,5},$$

$$\mathrm{P}_4 = \frac{(p+3)\left(p+\frac{7}{2}\right)(p+4)\left(p+\frac{9}{2}\right)}{1\,.\,3\,.\,5\,.\,7};$$

et, en général,

$$\mathrm{P}_n = \frac{\left(p+\frac{n+2}{2}\right)\left(p+\frac{n+3}{2}\right)\left(p+\frac{n+4}{2}\right)\cdots\left(p+\frac{2n+1}{2}\right)}{1\,.\,3\,.\,5\ldots(2n-1)} \quad \ldots \quad (46)$$

(*) Un groupement plus ou moins convenable, des fractions composant chaque facteur de L, conduit à ce même résultat.

Digitized by Google

Conséquemment, on a ce théorème : p *étant une constante positive, et* n *un nombre entier, qui croît indéfiniment,*

$$\text{Lim } P_n = 2^{2p+1}.$$

23. *Suite.* La quantité P_n peut être mise sous une forme plus simple.

1° Le numérateur

$$= \frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{\Gamma\left(p+1+\frac{n}{2}\right)};$$

2° Le dénominateur

$$= \frac{2.4.6\ldots\overline{2n-2}}{1.2.3.4\ldots\overline{2n-1}} = \frac{2^{n-1}\Gamma(n)}{\Gamma(2n)}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (47')$$

3° D'après un théorème de Legendre, cité plusieurs fois,

$$\frac{\Gamma(n)}{\Gamma(2n)} = \frac{\sqrt{\pi}}{2^{2n-1}} \frac{1}{\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)};$$

La formule (46) devient donc

$$P_n = \frac{\sqrt{\pi}}{2^n} \frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{\Gamma\left(p+1+\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (47)$$

En conséquence,

$$\text{Lim} \frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{2^n\Gamma\left(p+1+\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)} = \frac{2^{2p+1}}{\sqrt{\pi}}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (48)$$

24. *Remarque.* Soit $f(x)$ une fonction *continue,* telle que $y = f(x)$ représente une courbe *convexe,* possédant une *asymptote parallèle à l'axe des abscisses,* et n'ayant, à la droite de l'autre axe, *aucun point singulier.* Quelle que soit la loi des valeurs de x, $f(x)$ tendra vers une limite *unique,* répondant à $x = \infty$. La fraction

$$\frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{2^n\Gamma\left(p+1+\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)}$$

Digitized by Google

a la forme indiquée. Conséquemment : p *étant une constante positive, et* x *une variable qui croît indéfiniment, à partir de zéro :*

$$\text{Lim}\cdot\frac{\Gamma\left(p+x+\frac{3}{2}\right)}{2^x\Gamma\left(p+1+\frac{x}{2}\right)\Gamma\left(x+\frac{1}{2}\right)}=\frac{2^{2p+1}}{\sqrt{\pi}}\ (^*) \quad \ldots\ldots \quad (49)$$

25. *Égalité de deux limites.* Nous avons trouvé

$$\frac{2^{2p+1}}{\sqrt{\pi}}=lim\frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{2^n\Gamma\left(p+1+\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)}. \quad \ldots\ldots \quad (48)$$

D'ailleurs, il est évident que

$$2=lim\frac{\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{\left(p+1+\frac{n}{2}\right)}.$$

Donc

$$\frac{2^{2p+2}}{\sqrt{\pi}}=lim\frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{2^n\Gamma\left(p+2+\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)}. \quad \ldots\ldots \quad (50)$$

Si, dans la formule (48), on remplace p par $p+\frac{1}{2}$, elle devient

$$\frac{2^{2p+2}}{\sqrt{\pi}}=lim\cdot\frac{\Gamma(p+n+2)}{2^n\Gamma\left(p+\frac{n+3}{2}\right)\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)}.$$

Conséquemment,

$$1=lim\frac{\Gamma\left(p+n+\frac{3}{2}\right)}{\Gamma(p+n+2}\,\frac{\Gamma\left(p+\frac{n+3}{2}\right)}{\Gamma\left(p+\frac{n+4}{2}\right)};$$

ou enfin, par une transformation facile,

$$Lim\,B\left(p+n+2,\frac{1}{2}\right)=lim\,B\left(p+n+\frac{3}{2}+2,\frac{1}{2}\right)(^{**}). \quad \ldots \quad (51)$$

(*) On ne considère, bien entendu, que les valeurs arithmétiques de 2^x.
(**) La limite commune est *zéro*.

Digitized by Google

V

Lettre à M. Hermite (extrait).

« Le dernier Mémoire (imprimé) de B., se termine par la formule de
» M. Weierstrass :

$$\frac{1}{\Gamma(a+1)} = e^{Ca} \prod_1^{\infty} \left[\left(1 + \frac{a}{m}\right) e^{-\frac{a}{m}} \right] \quad \ldots \quad (A)$$

» Je ne la connaissais pas, bien qu'elle se trouve dans votre *Cours de la*
» *Sorbonne*. Permettez-moi, pour deux motifs, de ne pas l'admirer :

» 1° Elle est, absolument, inapplicable;

» 2° Elle résulte, tout de suite, de la formule de Gudermann, telle que
» vous l'écrivez (*) :

$$\mathcal{L}.\Gamma(a+1) = \sum_1^{\infty} \left[a\mathcal{L}\left(1 + \frac{1}{m}\right) - \mathcal{L}\left(1 + \frac{a}{m}\right) \right] \quad \ldots \quad (B)$$

» J'observe, d'abord, que

$$a\mathcal{L}\left(1 + \frac{1}{m}\right) - \mathcal{L}\left(1 + \frac{a}{m}\right)$$

» est le terme général d'une *série convergente*.

» En second lieu, on a, *en série convergente*,

$$-Ca = \sum_1^{\infty} \left[a\mathcal{L}\left(1 + \frac{1}{m}\right) - \frac{a}{m} \right] (^{**}) \quad \ldots \quad (C)$$

(*) *Telle que je l'ai écrite*, serait plus exact. Voir, dans les *Recherches sur la constante* G, la relation (74). (*Janvier* 1892.)

(**) D'après votre *Cours*, la petite transformation

$$\mathcal{L}n = \mathcal{L}\frac{n}{n-1} + \mathcal{L}\frac{n-1}{n-2} + \cdots + \mathcal{L}.\frac{2}{1} + \mathcal{L}1,$$

que j'ai *trouvée* en 1856 (*Mélanges mathématiques*), l'avait été, antérieurement, par Gauss. Tant mieux pour moi!

Digitized by Google

» Ceci posé, la série formée par les différences, terme à terme, des
» séries (B), (C), est encore convergente. Donc

$$-Ca + \mathcal{L}\Gamma(a+1) = \sum_1^\infty \left[\frac{a}{m} - \mathcal{L}\left(1 + \frac{a}{m}\right)\right];$$

» ou, ce qui est équivalent, la formule (A). Comment W. ne s'est-il pas
» aperçu de cette concordance?

» Le Mémoire de B. me procure bien d'autres surprises. A la page 61,
» à propos de la formule (171), il dit :

» *La série*

$$\sum_1^\infty \frac{1}{m(m^2 - a^2)}$$

» *est absolument convergente, quel que soit le module de* a.

» Et si a est un nombre entier? Voilà donc une série, dont un terme est
» infini, et qui, néanmoins, est convergente!

» ... Il soutient que ce résultat (qui me semble absurde), est *d'accord*
» *avec vos principes*. Alors, *où allons-nous?* A-t-on, en Analyse, mis le cœur
» à droite, comme faisait Sganarelle? J'aime à croire que B. se trompe...

» 12 novembre 1891. »

Liège, 31 janvier 1892.

Digitized by Google

DE

L'ARGENT

PAR

J.-S. STAS,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE

(Œuvre posthume, présentée à la Classe des sciences par M. W. Spring, dans la séance du 5 mars 1892.)

Digitized by Google

DE L'ARGENT.

INTRODUCTION.

Après la démonstration, faite par mon illustre maître Dumas, de la présence de l'oxygène dans l'argent solidifié, j'ai, *sur le désir qu'il m'en a exprimé*, essayé de soumettre à une revision, aussi complète que possible, les propriétés, les méthodes de préparation du métal successivement employé par moi aux déterminations de poids atomiques et les moyens pratiqués pour rechercher les matières étrangères que ce métal retient dans des conditions données. En ce qui concerne les matières étrangères fixes, cette revision m'a permis de confirmer l'exactitude des faits exposés dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, et dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques, sur les poids atomiques et leurs rapports mutuels.*

J'ai dit et répété que l'argent pur « se fond et se maintient fondu dans » l'air, à une température suffisante pour se volatiliser, sans se couvrir de » taches ou de coloration quelconque et sans donner de vapeur colorée ».

D'après mes nouvelles investigations, je suis obligé d'ajouter que l'argent privé de gaz se fond au chalumeau partiellement d'abord, complètement

Digitized by Google

ensuite, sans que sa surface fondue s'élève sensiblement et laisse apparaître, à la fusion complète la moindre bulle. Mon premier soin a été de rechercher, si tels sont les caractères de l'argent pur et si le métal employé pour mes travaux antérieurs les réalise. J'ai constaté, avec certitude, que l'argent pur et l'argent utilisé par moi à différentes époques offrent ces propriétés fondamentales.

Le métal argent contenant, comme c'est souvent le cas, des *traces* seulement de silicium, d'aluminium, de cuivre, de fer, se couvre d'une tache mobile lorsqu'on le fond au chalumeau alimenté à l'hydrogène pur, ou au gaz de l'éclairage et à l'air *en excès,* ou à l'oxygène. Si ces corps étrangers sont en quantité suffisante, la surface de l'argent se ternit en se couvrant complètement d'un voile jaune de silicate d'aluminium et d'argent, d'un brun noirâtre, de silicate d'aluminium, d'argent, de cuivre et de fer, suivant qu'il existe seulement du silicium et de l'aluminium, ou bien du silicium, de l'aluminium, du cuivre et du fer.

Le fait que présente l'argent de se couvrir de taches à sa refonte à l'air, se reproduit tant que, par des affinages successifs, il n'a pas été complètement privé de ces corps étrangers. Ainsi, en attaquant successivement par des dissolvants convenables, tels que les acides fluorhydrique et chlorhydrique dilués, les corps oxydés, et en oxydant à nouveau dans une cavité de chaux pure, *ou mieux de phosphate basique de calcium pur* [1], le culot décapé, les taches reparaissent tant que les substances qui leur donnent naissance n'ont pas absolument disparu.

L'argent cuprifère colore, en outre, le dard aérhydrique ou oxhydrique en vert.

Au dard aérhydrique, l'argent pur, *privé de gaz,* se fond sans que la surface du métal s'élève, tandis qu'en fondant au chalumeau, l'argent contenant des gaz à l'état de bulles closes, on remarque, dès que la surface fond, qu'elle s'élève sensiblement. En dépassant ce point, une bulle se forme qui *éclate*

[1] J'ai obtenu le phosphate basique de calcium pur en précipitant une solution ammoniacale d'azotate de calcium pur titrée, par du phosphate ammoniacal d'ammonium dissous et titré, employés en quantités équivalentes, en desséchant ensuite la masse et calcinant très légèrement le phosphate basique calcique pour détruire l'azotate d'ammonium formé.

Digitized by Google

bientôt avec projection de métal, pour laisser ensuite une dépression sur l'argent incomplètement fondu. *Ce caractère distingue l'argent bulleux de l'argent non bulleux.*

L'argent bulleux soumis au laminage fournit des lames à *soufflures* qui se trouent en continuant le laminage.

En appliquant ces moyens d'investigation à l'argent préparé par les méthodes généralement employées, on s'assure aisément combien le métal obtenu laisse à désirer au point de vue de la pureté.

J'ai eu recours à ces différents moyens de recherche, non seulement pour m'assurer de la présence ou de l'absence des matières étrangères, mais pour les éliminer du métal lorsque j'ai eu l'occasion de constater leur existence.

Le fait offert par l'argent contenant les matières étrangères *fixes* indiquées ci-dessus, de se couvrir de taches est dû à la propriété que possède le métal fondu d'emprunter de l'oxygène au milieu dans lequel s'accomplit la fusion. Cet oxygène, en se *dissolvant* dans le métal, oxyde les corps étrangers combinés à l'argent, et les oxydes produits, insolubles et plus légers que l'argent liquéfié, viennent nager à la surface. Ce qui prouve que la production de taches à la surface de l'argent doit être attribuée à l'oxygène dissous, c'est la possibilité d'opérer la fonte de l'argent *très impur* dans l'hydrogène, sans que le sphéroïde aplati se couvre de la moindre tache, et qu'*en remplaçant l'hydrogène par du gaz tonnant, on aperçoit immédiatement des taches nombreuses.*

En opérant dans des vases en oxyde ou en phosphate calcique basique pur, sur des quantités qui ont varié de *cent* à *trois cents* grammes d'argent pur fondu et saturé, *à son point de solidification,* des gaz au sein desquels la fusion s'est effectuée, j'ai constaté que, lors de la solidification du métal, les gaz dissous se dégagent, *du moins pour la majeure partie.* Si la solidification s'effectue brusquement, les gaz abandonnent le métal à la fois par la surface supérieure et par la surface inférieure du culot. Il se produit sur le haut du culot un véritable *rochage* avec projection de métal, et à la partie inférieure une infinité de pertuis et de cavernes par lesquels les gaz s'échappent. *Toutefois, une petite quantité de gaz reste emprisonnée dans des bulles closes.*

Si, au contraire, le refroidissement est lent, les gaz dissous s'échappent

Digitized by Google

exclusivement par la surface inférieure du culot, en formant soit des pertuis, soit des cavernes, ou les deux à la fois. *Il reste, dans ce cas également, une petite quantité de gaz emprisonnée dans des bulles closes.*

On observe ces phénomènes, mais à un degré moindre, lorsqu'on opère le refroidissement du métal fondu dans un milieu réducteur, ainsi que je l'établirai plus loin.

Maintenu en fusion dans un creuset de porcelaine avec les carbonates ou les borates de potassium ou de sodium, l'argent leur emprunte du métal de ces sels. Pour s'assurer de la présence du potassium ou du sodium dans le métal ainsi traité, il suffit de le porter au rouge vif dans le dard aérhydrique, pour voir apparaître immédiatement la flamme potassique ou sodique, suivant le borate ou le carbonate employé.

Au rouge sombre, l'argent en barreau semble se désagréger sous l'influence du dard aérhydrique, *si la chaleur est suffisamment prolongée.* Si la désagrégation est réelle, on peut se demander si elle n'est pas due à la perméabilité de ce métal pour les gaz à cette température. En effet, on connaît depuis longtemps la perméabilité de l'argent pour l'hydrogène; M. Troost a démontré qu'à cette température, ce métal est perméable à l'oxygène, à l'azote, à l'anhydride et à l'oxyde carboniques. Lorsque l'argent est chauffé vers 600°, en présence de l'hydroxyde de potassium ou de sodium, le métal alcalin pénètre l'argent qui, par suite de la présence de l'air, entre partiellement en dissolution dans l'hydroxyde fondu. La pénétration de l'hydrate alcalin est telle, qu'elle a fait naître en moi l'idée de profiter de cette propriété pour enlever, au sein de petits culots d'argent, le silicium et l'aluminium qui y étaient contenus, et dont l'élimination est longue et s'effectue avec des pertes sensibles lorsqu'on a recours au procédé des refontes et des décapages alternatifs. A cet effet, j'ai maintenu au rouge sombre, pendant toute une journée, dans un creuset d'argent pur, des petits culots brillants aplatis de ce métal au sein de l'hydrate de sodium. Au bout de ce temps, l'hydrate sodique s'était fortement chargé d'argent et la surface des culots était devenue complètement mate, de brillante qu'elle était. Après avoir décanté l'hydrate et l'avoir remplacé par une quantité égale, j'ai recommencé le lendemain le traitement. Lorsque j'avais maintenu pendant cinq heures environ le tout au

Digitized by Google

rouge sombre, j'ai constaté que toute la paroi extérieure et le fond du creuset étaient mouillés d'hydrate sodique. J'ai d'abord attribué ce fait à ce que l'hydrate contenu dans le creuset était monté par capillarité et avait découlé ensuite. Quelques instants après ces constatations, le fond du creuset a cédé et a laissé passer tout l'hydrate sodique qu'il contenait.

J'ai soumis à un examen attentif le métal du *creuset* préalablement bien lavé à l'eau pure bouillante, et le métal des *culots*. J'ai reconnu ainsi les faits suivants :

Vers le fond du *creuset*, l'épaisseur des parois avait diminué de moitié; le métal en était devenu *dur* et *très cassant*. Quoique parfaitement lavé à l'eau et maintenu longtemps dans de l'eau en ébullition renouvelée, il colorait en jaune intense la flamme d'un brûleur de Bunsen et la flamme de l'hydrogène. Cette coloration jaune intense a persisté même après la fonte du métal. *Cette fonte s'est effectuée sans que le sphéroïde produit se soit couvert de la moindre tache.*

Pour priver le métal de la propriété de communiquer le caractère sodique à la flamme, il a fallu le maintenir, pendant cinq minutes environ, dans le dard aérhydrique à la température la plus élevée, dans une cavité de chaux pure ou dans une cavité de charbon de cornue purifié, ainsi que je le dis plus loin.

Les *culots* d'argent qui avaient séjourné pendant *dix-sept heures* dans l'hydrate de sodium fondu étaient d'un blanc mat; ils ont présenté la particularité de rendre encore l'eau alcaline après avoir été soigneusement lavés à l'eau bouillante renouvelée. Ayant cherché l'origine de l'hydrate alcalin, j'ai constaté que ces culots offraient un nombre considérable de petits pertuis en communication avec des cavités. En effet, en chauffant suffisamment les culots qui avaient séjourné longtemps dans l'eau bouillante, ils laissaient échapper par ces petits trous des jets d'une solution d'hydrate sodique. Cependant le métal des culots, après avoir été longtemps chauffé au dard aérhydrique très oxydant, pour éliminer la majeure partie du silicium et de l'aluminium qui y étaient contenus, avait été maintenu longtemps dans le dard rendu réducteur pour enlever l'oxygène dissous et priver ainsi les culots de cavités soit closes, soit en communication avec l'extérieur.

Digitized by Google

Sans distinction aucune, les nombreux culots dont le métal avait été fondu dans un milieu oxydant et lentement refroidi au sein d'un milieu *réducteur*, dans une cavité de chaux pure, ont offert des cavernes. L'existence de ces cavernes montre, à toute évidence, la présence de *gaz* dans l'argent maintenu en fusion dans *un milieu réducteur,* et le dégagement de ces gaz, ou d'*une partie au moins,* lors de la solidification du métal [1].

Le métal des culots traités à l'hydrate sodique et lavés ensuite soigneusement à l'eau bouillante, fondu au chalumeau aérhydrique dans une cavité de chaux pure, colorait intensément le dard en jaune.

En maintenant l'argent en fusion jusqu'à ce qu'il eût cessé d'imprimer au dard le caractère sodique, sa surface était d'une *netteté* et d'un *brillant* incomparables, propriété que le métal ne possédait pas avant d'avoir été chauffé dans l'hydroxyde sodique.

Le traitement que je viens d'exposer a été appliqué à au delà d'un kilogramme d'argent contenant du silicium et de l'aluminium. *Après l'élimination du sodium,* une partie du métal a été coulée dans de l'eau pure, pour être transformée en grains et en grenailles; une autre partie a été conservée à l'état de culots.

Trois des culots pris au hasard, essayés au dard aérhydrique avec excès d'hydrogène, se sont montrés *non bulleux* à leur surface supérieure, et *légèrement bulleux* à leur surface inférieure. Soumis, après l'essai, au laminage, ils ont fait entendre un cri analogue à celui de l'étain qu'on plie. Les lames, amenées vers l'épaisseur d'un demi-millimètre environ, ont présenté des *soufflures* et ensuite des *trous*. Les culots renfermaient donc des *bulles closes*.

[1] Nous avons reconnu, Henri Sainte-Claire-Deville et moi, que le platine, l'iridium et le platine iridié fondus et refroidis *brusquement* ou *lentement,* dans un milieu réducteur ou non, se conduisent absolument comme l'argent. Les culots présentent des *cavernes* et renferment en outre des *bulles closes* disséminées dans la masse.

Les chlorures de potassium et de sodium fondus peuvent dissoudre également des gaz, qui se dégagent toutefois par une élévation suffisante de température. Lors de la solidification d'un chlorure alcalin fondu, contenant des gaz en solution, ceux-ci s'en séparent et restent à l'état de bulles disséminées dans le solide lorsque leur quantité est petite; dans le cas contraire, les gaz devenus libres se réunissent vers le milieu en soulevant la partie supérieure du culot.

Les culots de chlorure ne présentent jamais de cavernes.

Digitized by Google

Les grains et les grenailles ont été rochés ou non rochés, suivant la température du métal au moment de sa coulée dans l'eau.

L'examen microscopique de la surface des grains et des grenailles non rochés ne m'a pas permis d'y découvrir l'existence de pertuis ou de cavernes. La refonte au chalumeau aérhydrique des grains et des grenailles non rochés, m'a permis d'y constater la présence de bulles d'une petitesse extrême, renfermant du gaz emprisonné. Je reviendrai plus loin à l'usage que j'ai fait de l'argent à l'état de culot et à l'état de grains et de grenailles.

J'ai profité de l'argent purifié à l'hydroxyde de sodium, suivi d'un affinage énergique, pour rechercher s'il est possible de se procurer ainsi ce métal ne donnant à aucune température le spectre sodique et pour contrôler mes anciennes observations sur la couleur de la vapeur d'argent.

On le conçoit, j'ai rencontré les plus grandes difficultés de me procurer un support destiné à contenir l'argent, et ne donnant pas lui-même la raie sodique à la température de l'ébullition de l'argent. Le seul que j'aie trouvé a été une cavité de charbon. J'ai eu recours, à cet effet, au charbon de naphte et au charbon de cornue convenablement purifiés [1].

[1] J'ai obtenu le charbon de naphte en décomposant très lentement, à la chaleur *blanche*, de la vapeur de naphte dans un large tube de porcelaine. Le charbon ainsi produit est très dur, d'un gris d'acier; il se taille parfaitement, mais il présente l'inconvénient de voler en éclats lorsqu'on le chauffe sans ménagement convenable. La surface du charbon qui a eu le contact de la porcelaine renferme de la silice et du sodium. Pour éliminer ces deux corps, j'ai exposé pendant plusieurs heures, dans un tube de porcelaine non verni intérieurement, chauffé au blanc, les coupelles à un courant de chlore *sec*. Néanmoins, chauffées au gaz oxhydrique immédiatement après leur sortie du tube en porcelaine et, partant, encore saturées de chlore, elles donnent la raie sodique à l'analyse spectrale, et ce n'est qu'après avoir été exposées pendant quelques minutes au dard oxhydrique, à la température de l'incandescence de l'hydrogène, que la raie sodique diminue d'intensité pour disparaître ensuite complètement.

J'ai reconnu que le *charbon de cornue* purifié est préférable, sous tous les rapports, au charbon de naphte. J'ai réussi à purifier complètement ce charbon, de manière à le priver du fer, du sodium et du silicium qui y existent constamment. Il présente sur le charbon de naphte l'avantage de pouvoir être chauffé brusquement sans voler en éclats.

Le moyen de purification employé consiste à laisser digérer à 100° le charbon de cornue, poreux ou compact, suivant l'usage auquel on le destine, préalablement taillé en plaques, en coupelles, en creusets, en nacelles, en petits cônes, en cylindres creux, en aiguilles, etc., dans de l'eau contenant 10 % d'acide chlorhydrique liquide et 2 % d'iodure d'ammonium,

Digitized by Google

Lorsqu'on chauffe, dans la pointe du dard oxhydrique, l'argent pur dans une capsule de charbon de naphte ou de charbon de cornue purifié, tant que le métal n'entre pas en ébullition, la vapeur qu'il émet est très légèrement *teintée de bleu,* malgré son abondance relative. Dès que la température est suffisamment élevée pour faire bouillir l'argent et abaisser assez la température du dard pour maintenir l'hydrogène en incandescence, le mélange de vapeur d'argent, de vapeur d'eau, d'hydrogène et d'oxyde carbonique formé aux dépens de la coupelle, est coloré en bleu pâle, ainsi que je l'ai dit dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques,* etc., page 75. C'est par erreur que des chimistes et des physiciens attribuent une couleur verdâtre à la vapeur d'argent portée à haute température. On n'observe de couleur verdâtre que lorsque l'air dans lequel on exécute l'expérience est *sodique* ou bien que le métal est *cuprifère.*

En répétant ces essais avec le dard oxycarbohydrique, on observe les mêmes phénomènes, c'est-à-dire que l'argent, au-dessous de son point d'ébullition, émet dans ce dard une vapeur à peine teintée de bleu et que, chauffé à l'ébullition, le dard passe coloré en bleu pâle et quelquefois légèrement violacé, d'après la quantité d'oxyde carbonique formée aux dépens de l'oxygène et du carbone de la coupelle.

En remplaçant le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique par l'*étincelle,* la *décharge* ou l'*arc électrique,* on observe les mêmes phénomènes avec l'argent pur servant d'électrode. Lorsque l'air est pur, dès que l'étincelle, la décharge et l'arc sont suffisamment forts pour faire apparaitre le spectre de l'argent, on constate leur coloration bleu pâle; si l'air est *sodique* ou si l'argent est *cuprifère,* la coloration vire vers le *vert.*

jusqu'à ce que l'acide n'enlève plus trace de fer, ce qui est fort long et exige un renouvellement journalier de près de six semaines pour le charbon de cornue compact. Lorsqu'on a opéré l'élimination du fer, le charbon retient encore de la *silice* et de l'*iode* qui s'y est fixé. On sèche les objets à l'abri des poussières de l'air et on les expose ensuite au *rouge vif* dans un courant de chlore *sec,* maintenu pendant douze heures. Ce charbon, malgré sa compacité, condense beaucoup de chlore; mais celui-ci se perd complètement lorsqu'on le chauffe au rouge sombre dans l'air. *Il se consume sans laisser trace de cendre.*

Le charbon de cornue purifié emprunte à l'air le sodium au même degré que la mousse de platine. On doit conserver *en vase clos,* à l'abri des poussières de l'air, les objets confectionnés en charbon de cornue, et les rougir *à blanc* avant de s'en servir à l'analyse spectrale.

Digitized by Google

En me fondant sur ces observations, j'ai attribué à la vapeur de l'argent une couleur bleu pâle.

L'interprétation donnée à ces faits est-elle bien exacte? En effet, la coloration constatée n'est-elle pas due, tant pour le gaz oxhydrique que pour le gaz oxycarbohydrique, à la couleur propre du mélange gazeux porté à l'incandescence, et non pas à la vapeur de l'argent, qui peut être incolore? Je ne le pense pas. En effet, de l'argent absolument pur, celui, par exemple, que l'on obtient par la réduction de l'azotate d'argent privé de toute trace de cuivre, à l'aide du formiate d'ammoniaque, ainsi que je le dirai plus loin, introduit au bout d'une boucle en fil fin de platine pur, colore en bleu très pâle la flamme *obscure* de l'hydrogène et le sommet à peine lumineux d'un brûleur de Bunsen.

En tout cas on ne saurait, à mon avis, être assez réservé au sujet des conclusions à déduire de l'inspection des flammes. En effet, on admet généralement que la vapeur mercurielle est incolore. Je me suis assuré qu'il en est ainsi jusqu'à la température à laquelle fond le verre le plus réfractaire que l'on puisse produire. En substituant à une coupelle de charbon une nacelle de platine récemment rougie à blanc, et du mercure pur à l'argent, on peut à volonté reproduire les phénomènes observés avec ce dernier métal et le gaz oxhydrique. Le dard qui a passé sur le mercure est absolument incolore ou plus ou moins coloré en bleu pâle, suivant la quantité de chaleur qu'il a cédée au mercure.

En soumettant à l'analyse prismatique la vapeur émanée de l'argent préalablement affiné au creuset de chaux pure ou à la coupelle de phosphate basique calcique et coulé ensuite dans de l'eau, ou simplement *de l'argent réduit par l'acide formique, à l'aide d'éléments privés complètement de sodium*, si le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique ne fournit pas la raie sodique, avant de passer sur l'argent contenu dans une *coupelle* ou dans *un cylindre creux de charbon*, on n'observe pas son apparition, quelle que soit l'*élévation de la température* à laquelle est soumise la vapeur de ce métal.

Ainsi que je l'expose plus loin, j'ai été à même de vérifier l'exactitude de ce fait en répétant à plusieurs reprises les observations, lorsque j'ai été assez heureux d'avoir de l'air privé de sodium, au point de ne plus voir appa-

Digitized by Google

raître la raie caractéristique de ce métal dans le dard oxhydrique qui y était lancé.

En remplaçant le dard oxyhydrique par l'*arc électrique*, l'argent pur ne fournit pas de raie sodique dans l'*air pur*, mais le magnifique spectre électrique de ce métal, qu'on n'observe jamais par l'analyse prismatique de la vapeur d'argent portée à la température de l'iridium *fondu*.

D'après mon expérience, je puis affirmer qu'au dard oxyhydrique et dans l'arc électrique, l'argent est irréductible en sodium, à la température de la fusion de l'iridium, et j'ose en dire autant du mercure.

Digitized by Google

DES MÉTHODES

DE PRÉPARATION DE L'ARGENT.

Quoique j'aie conservé des quantités relativement grandes du métal dont une partie a servi à l'exécution de mes travaux antérieurs, et qu'au besoin je pouvais me borner à rechercher si ces métaux contenaient de l'oxygène, d'autres gaz ou des matières étrangères, et, dans l'affirmative, en déterminer la quantité, j'ai néanmoins soumis à un examen attentif non seulement les méthodes employées par moi pour me procurer ce métal, mais, comme moyen de contrôle, j'ai eu recours à de nouveaux procédés.

Je vais exposer le plus brièvement possible mes longues recherches et les résultats auxquels je suis arrivé.

I. — Argent provenant de la réduction du chlorure à l'aide d'une solution alcaline sucrée.

Le chlorure d'argent a été préparé et réduit comme je l'ai exposé pages 30 et 31 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, etc. Le métal pulvérulent fut fondu dans un creuset de porcelaine, sous une couche de borax mêlé de 5 °/₀ de son poids d'azotate de sodium, et coulé ensuite dans une lingotière enduite de kaolin. Après l'enlèvement du kaolin adhérent par le moyen que j'ai indiqué page 52, j'ai obtenu un métal *complètement* privé de silicium et d'aluminium, mais contenant sensiblement autant de sodium qu'un affinage au chalumeau aérhydrique ou aércarbohydrique, opéré sur le métal en fusion, en élimine absolument.

L'élimination du sodium sous le dard aérhydrique entraîne avec elle une perte de 2 °/₀ du métal fondu sous le borax.

Avant sa fusion avec le borax mêlé d'azotate sodique, l'argent pulvérulent contenait du silicate d'alumine provenant de l'attaque de la capsule de

Digitized by Google

porcelaine sous l'influence de l'hydrate de potassium employé pour la réduction. Je me suis assuré de l'éxistence du silicate aluminique en fondant au chalumeau aérhydrique, dans un creuset de chaux du marbre blanc, l'argent pulvérulent. La surface du métal se couvre de taches abondantes de silicate d'aluminium, d'argent, de potassium et de sodium. L'analyse prismatique du dard, qui amène et maintient le métal en fusion, fournit à la fois le spectre potassique et le spectre sodique, qui persistent tant qu'on n'a pas décanté le métal dans une autre cavité de chaux, en laissant le silicate multiple fondu adhérent à la paroi du creuset de chaux. J'ai reconnu qu'il est indispensable de répéter encore, à deux reprises, la refonte et la décantation pour éliminer complètement, par affinage, le silicium, l'aluminium et le sodium retenus par l'argent. Du reste, les *mêmes* creusets de chaux peuvent continuer à servir après qu'on en a détaché, à l'aide d'une cuiller d'argent,le silicate qui est resté attaché aux parois de la cavité.

L'expérience m'a prouvé qu'en agissant ainsi sur une quantité de 100 grammes d'argent pulvérulent à la fois, l'affinage au chalumeau aérhydrique entraine une perte de 2 °/₀ à chaque opération; ce qui ramène le déchet à 6 °/₀ du métal pulvérulent mis en œuvre. Cette perte est due à la volatilisation de l'argent. On la constate par le dépôt de globules qui s'effectue sur le chalumeau d'argent employé, ou sur une plaque de chaux sur laquelle ont reçoit les vapeurs.

En substituant un dard oxhydrique ou oxycarbohydrique au chalumeau aérhydrique, on peut, dans une seule opération, arriver à l'élimination du silicium, de l'aluminium et du sodium qui se fixent sur la chaux, ainsi que je l'ai dit dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques;* mais dans ce cas, par suite de la grande volatilité de l'argent à la température excessive du dard, la perte s'élève au *quart* environ du poids du métal pulvérulent employé.

La conclusion logique à tirer de ces faits, est que la réduction du chlorure d'argent par une solution potassique de sucre, ne doit pas être effectuée dans *un vase de porcelaine,* et qu'il faut *s'abstenir de fondre l'argent réduit sous une couche de borax mêlé d'azotate sodique.*

J'ai en conséquence repris la préparation de l'argent, en substituant *un*

Digitized by Google

grand vase d'argent à la capsule de porcelaine et en opérant la fusion du métal réduit au chalumeau aérhydrique, dans une cavité de chaux du marbre ou dans une grande coupelle de phosphate de chaux, dont j'avais éliminé le plus possible le sodium d'abord au chalumeau aérhydrique et ensuite au dard oxycarbohydrique.

J'ai opéré sur du chlorure d'argent provenant de la précipitation de l'acide chlorhydrique dilué et en excès par une solution d'azotate d'argent dont j'avais éliminé soigneusement le cuivre et le fer à l'aide d'une quantité suffisante d'argent. Après avoir porté à l'ébullition un excès de solution d'hydrate de sodium à 10 %, privé de métaux étrangers, j'y ai délayé le chlorure d'argent et, tout en maintenant le liquide en une douce ébullition, j'y ai ajouté petit à petit une solution concentrée de saccharose dont j'avais séparé, jusqu'à la dernière trace, le cuivre et le fer qu'on trouve dans le sucre le plus pur. A l'ébullition, une solution sodique ou potassique de saccharose réduit aussi facilement le chlorure d'argent qu'une solution de sucre interverti ou de lactose à 60°. Si le saccharose employé ne contient pas de sucre interverti, la solution alcaline sucrée opère la réduction sans se colorer sensiblement.

L'argent ainsi produit est très dense, d'une blancheur parfaite, et très brillant; il n'adhère point à la surface du vase d'argent dans lequel la réduction s'effectue. Je l'ai lavé à l'eau, jusqu'à ce que le liquide de décantation n'eût plus de réaction alcaline. Enfin je l'ai introduit dans un vase de platine où je l'ai arrosé d'eau acidulée par 2 % de son volume d'acide sulfurique pur.

Après un contact de douze heures sous une cloche, je l'ai lavé de nouveau à l'eau pure, jusqu'à disparition complète de réaction acide, et je l'ai laissé séjourner, sous une cloche, au sein de l'eau ammoniacale préparée dans le vase de platine même, en y amenant l'ammoniaque à l'aide d'un tube de caoutchouc; puis je l'ai lavé encore à l'eau pure, en l'abritant autant que possible du contact de l'air du laboratoire. Pendant le lavage, ce métal communique indéfiniment à l'eau pure, mais aérée, la saveur des sels d'argent; l'eau aérée, acidulée à l'acide sulfurique, produit le même effet. Je reviendrai plus loin sur ces faits.

Digitized by Google

L'argent pulvérulent, lavé à l'eau bouillant dans un vase de platine, introduit encore mouillé au bout d'une boucle en fil fin de platine récemment rougie, a communiqué une coloration sodique extrêmement fugitive à la flamme de l'hydrogène. La coloration sodique n'a pas été, à beaucoup près, aussi intense que celle produite par l'introduction dans cette flamme d'un fil de platine tourné en spirale, qui, après avoir été rougi à blanc, a été abandonné pendant *quinze minutes* dans l'air du laboratoire.

Après la disparition de la coloration sodique par l'élévation de la température, l'argent adhérent à la boucle de platine a pu être volatilisé en grande partie au dard aérhydrique, sans reproduire la coloration sodique. Je dis la coloration sodique, car au moment d'exécuter ces essais, l'air de la salle ou j'opérais était sodique, au point que le dard aérhydrique donnait lui-même la raie sodique d'une manière prononcée.

J'ai séché vers 100°, dans un creuset d'argent qui avait été rougi et rapidement refroidi, l'argent pulvérulent lavé, et j'ai fondu par partie le métal au dard aérhydrique d'abord dans une cavité de chaux qui venait d'être rougie à blanc, pour éliminer le plus possible le sodium. Le métal a coloré très fugitivement le dard en jaune, et la coloration a disparu bien avant la fusion de la totalité de la masse mise en expérience. *Le métal s'est liquéfié sans se couvrir de la moindre tache.* J'ai coulé dans l'eau froide l'argent fondu convenablement refroidi, dans un milieu réducteur, de manière à le transformer en grenaille non rochée.

Une partie des grenailles a été chauffée au rouge sombre dans un courant d'hydrogène pur, et abandonnée ensuite au refroidissement dans le courant. A cet effet, les grenailles étaient placées dans une grande nacelle de porcelaine vernie, sauf son fond extérieur, reposant sur une feuille de platine contenue dans un large tube de porcelaine, vernie intérieurement et extérieurement. Je rends compte plus loin, en détail, de ce traitement.

J'ai opéré en partie la fonte de l'argent pulvérulent dans une grande coupelle de phosphate basique de calcium pur, préparé comme il est dit ci-dessus.

Pour la confection des coupelles, qui étaient cerclées de tôle, on s'est servi du phosphate finement broyé et lavé à l'eau pure bouillante. Lors-

Digitized by Google

qu'elles étaient à moitié séchées, elles ont été soumises à une forte pression dans un moule de métal, afin de les durcir et de rendre le phosphate basique le plus cohérent possible. Après leur dessiccation à la température ordinaire, puis à l'étuve à air chaud, je les ai rougies à blanc pour en éliminer, le plus possible, le sodium que le phosphate basique, *même artificiel,* retient avec une grande persistance.

L'argent pulvérulent s'est fondu *sans se couvrir de la moindre tache;* mais le métal ayant été porté à température très élevée dans le dard aérhydrique *oxydant,* s'est couvert d'un *givre jaune,* cristallin, d'oxyde d'argent, disparaissant instantanément dans le dard rendu *réducteur* et reparaissant après peu d'instants dans le dard *oxydant.* J'ai constaté du reste en répétant l'expérience sur plusieurs échantillons d'argent, et notamment sur de l'argent distillé et sur de l'argent de l'électrolyse, chauffés préalablement dans l'hydrogène, que l'apparition d'un givre cristallin jaune à la surface d'un sphéroïde aplati de l'argent porté au blanc dans un dard oxydant et la réduction de ce givre dans le dard réducteur, est un des caractères du métal *pur saturé de gaz oxygène.* Dans un dard oxydant, l'argent se conduit donc comme le mercure pur porté, dans l'air, à son point d'ébullition. En effet, le mercure, après avoir absorbé l'oxygène de l'air, se couvre d'un givre cristallin, violacé, d'oxyde mercurique.

J'ai ensuite laissé se refroidir et se solidifier lentement l'argent dans le dard aérhydrique que j'avais rendu réducteur, afin d'enlever, autant que possible, l'oxygène que le métal avait dissous pendant la fusion.

Je reviendrai plus loin sur les recherches que j'ai instituées pour constater la présence de gaz :

1° Dans le métal grenaillé en le coulant dans l'eau;

2° Dans le métal grenaillé chauffé au rouge dans l'hydrogène;

3° Dans les culots solidifiés au sein d'un courant réducteur;

4° Dans les culots solidifiés chauffés au rouge dans un courant d'hydrogène.

Désirant me procurer, par la méthode modifiée, une quantité suffisante d'argent pour m'assurer s'il est possible d'obtenir, à l'aide du métal pulvérulent, fondu dans *un flux de chlorure de calcium pur,* un lingot privé

Digitized by Google

absolument de gaz quelconque (lingot représentant le poids spécifique vrai de l'argent solide), j'ai répété la préparation en opérant sur du chlorure provenant de *790 grammes d'azotate d'argent pur*. Le métal pulvérulent obtenu a présenté identiquement les mêmes propriétés que l'argent précédemment produit, c'est-à-dire qu'il s'est fondu dans une cavité de chaux pure en communiquant au dard aérhydrique une coloration sodique très fugitive et sans se couvrir de la moindre tache.

J'ai coulé dans l'eau le métal d'essai, afin de le transformer en grenaille qui a été jointe à la masse obtenue en premier lieu. Une de ces grenailles, introduite au bout d'une boucle en fil fin de platine qui venait d'être chauffée à blanc, *n'a pas communiqué de coloration sodique à la flamme d'un brûleur de Bunsen*. Fondu au bout de la boucle dans le dard aérhydrique, il n'a pas augmenté l'intensité de la raie sodique observée au même instant dans le dard avant son passage sur l'argent.

Il est donc établi que lors de la réduction du chlorure d'argent par une solution d'hydrate sodique sucrée, il ne se fixe pas de sodium sur l'argent pulvérulent produit, et lorsque cette réaction s'accomplit dans un vase et au sein d'un milieu qui ne peut pas céder du silicate d'aluminium, le métal ne renferme ni silicium, ni aluminium.

Fusion de l'argent pulvérulent dans un flux de chlorure de calcium. — Après avoir constaté les faits précédents, j'ai fondu la masse d'argent pulvérulent restant, au sein d'un flux de chlorure de calcium. J'ai exécuté cette fonte ainsi qu'il suit : Du chlorure de calcium obtenu en dissolvant, dans de l'acide chlorhydrique dilué pur, du carbonate de calcium privé complètement de silicium, d'aluminium, de magnésium, de fer, de manganèse, de potassium et, autant que possible, de sodium, a été fondu dans un creuset de platine. J'ai chauffé ensuite au rouge sombre, dans un grand creuset de porcelaine de Berlin, l'argent pulvérulent que je voulais soumettre à la fonte et que j'avais préalablement rougi sur une plaque concave d'argent pur, au dard aérhydrique, pour rendre le métal cohérent et chasser le sodium amené par l'air. J'ai versé du chlorure de calcium fondu et chauffé au rouge blanc, sur l'argent rougi, jusqu'à remplir les quatre cinquièmes de la capacité du

Digitized by Google

creuset de porcelaine. Après un refroidissement convenable du creuset couvert, je l'ai placé dans un grand creuset de Hesse que j'ai rempli ensuite entièrement de charbon de bois purifié et privé complètement de métaux alcalins, de silicium, d'aluminium, de fer et de manganèse. Un couvercle ayant été lutté sur le creuset de Hesse, j'ai soumis le tout à une température suffisante pour amener la fusion de l'argent.

Quoique le chlorure de calcium, avant d'être versé sur l'argent, eût été chauffé au blanc pour éliminer le chlorure d'ammonium que j'y avais ajouté afin d'empêcher sa décomposition pendant l'évaporation de sa solution et sa fonte, néanmoins j'ai constaté, en retirant le creuset de porcelaine du charbon de bois qui l'enveloppait de toute part, que la couche de chlorure de calcium fondu qui couvrait le culot d'argent était opaque et colorée en *rouge foncé*, au lieu d'être transparente et incolore. Ayant repris par de l'eau une partie du chlorure de calcium fondu, il a laissé indissous du chlorure d'argent d'un *rouge violacé*, état sous lequel il se présente souvent par l'*insolation*, du chlorure d'argent blanc, au sein de l'acide azotique et même de l'acide chlorhydrique.

La solution de chlorure de calcium contenait également du chlorure d'argent dissous, ce que j'ai reconnu en soumettant le liquide à un courant d'acide sulfhydrique qui en a précipité du sulfure d'argent.

J'ai tenu à rechercher si la production du chlorure d'argent provenait de l'action de ce métal sur le chlorure d'ammonium qui, malgré mes soins, serait resté dans le chlorure de calcium porté à température si élevée. Dans ce but, j'ai opéré une nouvelle fonte d'une petite partie d'argent pulvérulent au sein du chlorure de calcium qui n'avait pas reçu du chlorure d'ammonium et que j'avais mêlé, lors de sa fusion, avec quelques centièmes de carbonate de calcium pur. Le résultat a été le même. Le chlorure de calcium, fortement alcalin, était coloré en rouge foncé et contenait à la fois du chlorure libre et du chlorure en solution.

M. Rommelaere a répété l'opération avec de l'argent pulvérulent produit par l'action d'une solution ammoniacale de sulfite cuivreux sur une solution d'azotate d'argent ammoniacale, ainsi que je l'expose plus loin. Le chlorure de calcium fondu était également coloré en rouge foncé et contenait du chlorure d'argent rouge violacé libre et du chlorure d'argent en solution.

Digitized by Google

Il est donc établi qu'à la température de la fusion de l'argent, ce métal emprunte du chlore au chlorure calcique. J'ai cherché à me rendre compte de la réaction qui donne naissance au chlorure d'argent. J'ai pensé que l'argent réduit le chlorure de calcium en s'alliant à ce métal. Dans ce cas le culot doit contenir du calcium.

Pour m'en assurer, j'ai soumis, sur du charbon de cornue purifié au gaz oxycarbohydrique, une partie de l'argent détaché de l'un des culots; il m'a été impossible de constater l'apparition du spectre calcique dans le dard, fait que l'on observe aisément, quoique d'une manière fugitive, sur du platine qui a été porté, dans une cavité de chaux, à la température de la fusion de l'iridium.

Je dois donc attribuer la formation du chlorure d'argent à l'action des gaz du foyer sur le chlorure de calcium qui en élimine du chlore. Je donne cette explication comme une hypothèse qui attend sa confirmation de l'expérience.

Quoi qu'il en soit, les culots d'argent fondu dans les conditions que je viens d'indiquer sont d'une beauté remarquable. La surface des lingots est cristallisée; leur métal est susceptible d'être fondu au chalumeau aérhydrique dans une coupelle de phosphate calcique, sans se couvrir de la moindre tache, en donnant naissance à une surface d'un brillant incomparable. Ayant fondu, au dard aérhydrique avec excès d'hydrogène, une partie de la surface du lingot obtenu par M. Rommelaere, j'y ai reconnu l'existence de *bulles* closes par le soulèvement de la surface, la production subséquente de bulles gazeuses et la formation d'une dépression par le refroidissement du lingot. J'expose plus loin les recherches que j'ai faites sur le poids spécifique de ces lingots, sur leur contenu en gaz et sur le titre du métal [1].

[1] Depuis la rédaction de cette notice, nous avons constaté, M. Depaire et moi, que le grand lingot d'argent, chauffé dans le vide, abondonne $12^{mg},8$ par 1,000 grammes d'argent d'un composé de calcium, probablement un chlorure basique.

II. — Argent de la réduction de l'azotate d'argent ammoniacal par le sulfite cuivreux ammoniacal.

Dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques,* j'ai exposé les moyens auxquels j'ai eu recours pour obtenir de l'argent pur à l'aide de la réduction des solutions ammoniacales d'argent par le sulfite cuivreux ammoniacal. J'ai recherché quels sont, parmi ces moyens, ceux qui fournissent le plus sûrement du métal pur. Je vais d'abord rappeler quelques faits.

Le sulfite cuivreux ammoniacal réduit instantanément les solutions ammoniacales d'argent. Lorsque la réduction s'effectue *à froid,* au sein d'un liquide contenant 2 $^1/_2$ °/₀ d'argent, le métal précipité est d'une division extrême et d'un gris noirâtre. Quand la température atteint de 60 à 70°, le métal est encore très divisé, mais tout à fait blanc, et à 100°, il est grenu, blanc et très brillant.

A froid, le sulfite ammoniacal d'ammonium ramène *lentement* le sulfate cuivrique ammoniacal à l'état de sulfite cuivreux ammoniacal; la transformation est complète s'il existe un excès de sulfite d'ammonium.

En versant dans un excès de solution de sulfite ammoniacal d'ammonium chauffée à 100°, une solution de sulfate ammoniacal cuivrique portée également vers 100°, celui-ci est amené immédiatement à l'état de sulfite ammoniacal cuivreux.

Un mélange de solutions ammoniacales d'azotate d'argent, de sulfate cuivrique et de sulfite d'ammonium, abandonné à lui-même en vase clos, dépose lentement et complètement tout l'argent contenu dans l'azotate, si le liquide, exposé à la radiation solaire, contient un excès de sulfite d'ammonium. Le métal se dépose sous forme d'une pluie d'argent cristallisé, d'un blanc grisâtre, très brillant.

Dans le but de rechercher sous quel état l'argent précipité se prête le mieux à la séparation du cuivre et de l'inévitable silice, lorsqu'on opère dans des vases de porcelaine ou de verre, j'ai institué quatre essais, en exécutant chacun d'eux sur *cent grammes* d'argent *privé absolument de fer,* transformé en solution d'azotate ammoniacal à 2 $^1/_2$ °/₀ de métal.

Digitized by Google

A. J'ai réduit à froid, dans un grand vase de porcelaine de Bayeux, la solution ammoniacale argentifère par un excès de solution de sulfite cuivreux ammoniacal, privée absolument de fer et préparée comme je le dis plus bas. Après le dépôt du précipité, j'ai décanté l'eau mère et j'ai introduit le métal qui était noirâtre et d'une division extrême dans un flacon bouché à l'éméri, et je l'ai agité avec environ deux fois son volume apparent d'eau additionnée de 2 °/₀ d'ammoniaque liquide saturée de sesqui-carbonate d'ammonium. Cette solution dissout incomparablement mieux le cuivre que l'ammoniaque diluée au même degré.

En exécutant le lavage par décantation, il a fallu le répéter pendant *douze* jours à raison de *quatre* opérations par jour. En effet, l'extrême division et surtout l'état quasi floconneux du métal rendent le dépôt fort lent et, partant, le lavage très difficile. J'ai constaté la présence de sulfate, tant que l'eau de décantation a été sensiblement colorée en bleu. Dès que l'eau de décantation a cessé de se colorer, il m'a été impossible de reconnaître l'existence de l'acide sulfurique.

Je conclus de ce fait, que l'argent à l'état de division extrême ne contient pas lui-même du cuivre, mais qu'il retient du sulfate cuivrique avec une ténacité extrême, absolument comme le fait le charbon animal dans les mêmes conditions.

J'ai mis l'argent, ainsi lavé, pendant vingt heures en digestion avec de l'eau acidulée par 2 °/₀ de son volume d'acide sulfurique pur, pour lui enlever la chaux et l'alumine que j'y avais trouvées, et j'ai procédé à un nouveau lavage qui a exigé cinq jours pour être complet.

Ayant distrait quelques grammes de la masse, j'ai séché et fondu le métal au chalumeau aérhydrique dans une coupelle de phosphate de chaux. En se liquéfiant, l'argent a coloré le dard en jaune, et le sphéroïde s'est couvert complètement d'*un voile jaune-brun de silicate d'argent*.

L'existence de la silice dans l'argent m'étant ainsi prouvée, j'ai versé dans *une capsule de platine* la bouillie d'argent divisé, et je l'ai arrosée d'acide fluorhydrique dilué. Après deux heures de contact, j'ai décanté le liquide surnageant et j'ai procédé au lavage soigneux du métal. Ce lavage étant effectué, j'ai transvasé le métal dans une capsule d'argent pur, où je l'ai

Digitized by Google

séché à l'étuve vers 100°. Après sa dessiccation, il était encore noirâtre, très divisé et extraordinairement plastique. La moindre pression le rendait cohérent, en lui donnant le brillant métallique. Sa plasticité était telle que, sous l'influence d'une température de 250 à 300°, ses particules se soudaient entre elles, en donnant naissance à une masse cohérente d'un blanc d'argent. Une chaleur relativement faible exerçait donc sur lui le même effet que la pression.

Je l'ai fondu au dard aérhydrique dans une cavité de chaux du marbre blanc, enduite de chaux pure, où il s'est liquéfié en colorant d'une manière *très fugitive* le dard en jaune et sans se couvrir de la moindre tache. Après avoir laissé séjourner quelques minutes le métal fondu dans un milieu rendu réducteur, je l'ai coulé dans l'eau pour le grenailler.

L'une des grenailles, introduite au bout d'une boucle en fil de platine, qui venait d'être rougie dans la flamme d'une lampe de Bunsen, ne lui a pas communiqué de coloration sodique. J'ai pu, dans le dard oxhydrique, allier l'argent au platine, volatiliser une partie notable de l'argent sans provoquer l'apparition de la coloration sodique.

Quelle que soit la pureté du métal produit dans les conditions que je viens d'indiquer, je ne considère cependant pas comme pratique et, partant, à conseiller, le mode de préparation de l'argent par la réduction *à froid* d'une solution ammoniacale d'un sel d'argent par une solution de sulfite cuivreux ammoniacal. Je ne suis entré dans les détails qui précèdent que pour montrer la voie que j'ai été obligé de suivre pour obtenir par ce moyen de l'argent pur.

B. J'ai réduit vers 70°, dans une grande capsule de porcelaine de Bayeux, la solution argentifère ammoniacale, par un *excès* de solution de sulfite cuivreux ammoniacal, portée également, hors du contact de l'air, vers 70°. Le dépôt du métal s'est effectué très rapidement. Après avoir décanté l'eau mère éclaircie, j'ai introduit l'argent précipité, qui était tout à fait blanc et fin, quoique très dense, dans un flacon bouché à l'émeri, où j'ai procédé à son lavage par agitation et décantation à l'aide de l'eau contenant 2 °/₀ de son volume d'ammoniaque saturée de sesqui-carbonate d'ammonium.

En effectuant six décantations par jour, je suis parvenu, en trois jours, à

Digitized by Google

épuiser complètement le précipité métallique de cuivre et d'acide sulfurique. En effet, j'ai pu laisser, après le troisième jour, le métal pendant tout un septenaire en contact avec la solution ammoniacale et l'air, sans qu'elle se soit colorée en bleu et sans se charger de trace d'acide sulfurique susceptible d'être découverte par l'acétate de baryum, après l'évaporation de l'ammoniaque et de son carbonate.

La bouillie d'argent, épuisée de cuivre, a été versée dans une capsule de platine, dans laquelle elle a été arrosée d'eau contenant 2 % de son volume d'acide sulfurique pur. Après douze heures de contact, j'ai décanté l'eau acide, absolument incolore, privée de cuivre, mais renfermant des traces d'alumine et de chaux.

J'ai lavé l'argent jusqu'à disparition de toute réaction acide et je l'ai baigné ensuite d'acide fluorhydrique dilué pour dissoudre la silice amenée par les vases et les agents employés. Le contact ayant duré deux heures, j'ai procédé à un nouveau lavage que j'ai poussé encore jusqu'à disparition complète de toute réaction acide.

L'argent réduit à 70° a cédé avec la plus grande facilité la solution cuprique au sein de laquelle il a pris naissance ; après son contact avec l'eau acidulée par l'acide sulfurique et ensuite par l'acide fluorhydrique dilué, il s'est laissé laver facilement. Aucune de ces opérations n'a présenté la moindre difficulté.

J'ai séché à l'étuve vers 100°, dans un vase d'argent, le métal lavé; il était très divisé, blanc, très plastique, quoique incomparablement moins que l'argent réduit à froid. Toutefois, une faible pression et une élévation de température de 250 à 300° le rendaient fort cohérent et tout à fait brillant.

Immédiatement après sa dessiccation, je l'ai chauffé au dard oxycarbohydrique, dans une cavité de chaux de marbre blanc, préalablement portée à la température la plus élevée possible; il s'y est fondu en imprimant une coloration jaune *très fugitive* à la flamme, absolument comme l'argent pur qui a eu le contact de l'air, *mais sans se couvrir de la moindre tache.* J'ai grenaillé le métal d'une assez grande hauteur dans l'eau. Une partie des grenailles a été soumise, au rouge sombre, à un courant d'hydrogène pur et sec, sans perdre sensiblement de son poids.

Digitized by Google

C. J'ai réduit l'argent en chauffant lentement, au bain-marie, jusqu'à 80°, dans un grand ballon en verre bouché, un mélange de solutions ammoniacales d'azotate d'argent privé de fer, et d'*un excès* de sulfite d'ammonium et de sulfate cuivrique. Ainsi que je l'ai dit dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, la précipitation totale de l'argent s'effectue pendant le temps nécessaire à l'élévation de la température, pourvu que le liquide contienne, à l'état de sulfate cuivrique, deux molécules de cuivre pour une molécule d'argent et la quantité de sulfite d'ammonium nécessaire pour réduire tout le cuivre de l'état cuivrique à l'état cuivreux.

En suspendant au sein de l'eau l'argent précipité dans ces conditions, on reconnaît qu'il manque d'homogénéité physique et qu'il est constitué par un mélange de métal très divisé *noirâtre*, de métal *gris* et de métal *blanc*. Ce mélange retient le cuivre à l'état de sulfate cuivrique avec presque autant de persistance que l'argent précipité *à froid* par le sulfite cuivreux ammoniacal. Son traitement pour le priver de cuivre, d'alumine, de chaux et de silice, est aussi laborieux que la purification de ce dernier.

Quoique je sois parvenu à obtenir, par cette méthode, du métal pur, je ne la considère cependant pas comme pratique, et je me dispense d'entrer dans d'autres détails.

D. J'ai abandonné pendant dix jours à la radiation solaire directe, un flacon bouché à l'émeri *rempli* de solution ammoniacale d'azotate d'argent, mêlée au préalable d'*un excès* de solution ammoniacale de sulfite d'ammonium et de sulfate cuivrique. Après m'être assuré, par un essai préalable, que tout l'argent était éliminé et déposé, j'ai décanté l'eau mère et j'ai procédé au lavage du métal dans un plus petit flacon, en me servant, à cet effet, d'eau additionnée de 2 °/₀ de son volume d'ammoniaque concentrée, saturée de sesqui-carbonate d'ammonium. Quoique l'argent fût cristallisé, d'un blanc grisâtre et très brillant, néanmoins il n'a pas cédé au dissolvant le cuivre avec la même facilité que le métal réduit à 70°. En renouvelant l'eau ammoniacale *six fois* par jour, il a fallu *cinq jours* pour l'enlèvement complet du sulfate cuivrique. Ce résultat étant atteint, le traitement à l'eau acidulée par l'acide sulfurique, suivi d'un lavage à l'eau pure, et le traitement

Digitized by Google

à l'acide fluorhydrique dilué, suivi également d'un lavage à l'eau pure dans un vase de platine, se sont effectués avec la plus grande facilité, quoique ayant exigé plus de temps.

Le métal ainsi purifié, séché à l'étuve vers 100° dans un creuset d'argent, était cristallin, d'un blanc grisâtre, d'une plasticité fort grande.

Une faible pression, ou une température de 250 à 300°, le rend cohérent en le transformant en une masse blanche et dure, qui s'aplatit sous le pilon sans se gercer et qui peut être soumise au laminage.

Fondu au dard *oxycarbohydrique,* dans une cavité de chaux pure, portée préalablement à la température de la fusion de l'iridium pour éliminer le sodium, il imprime une coloration *très fugitive* à ce dard, et *ne se couvre pas de la moindre tache.* Après avoir laissé refroidir le métal dans le milieu rendu réducteur, je l'ai grenaillé, en le coulant d'une grande hauteur dans l'eau pure. Une des grenailles chauffée à la pointe du dard *oxhydrique* au point de l'ébullition de l'argent, a fourni une vapeur qui m'a paru tantôt complètement *incolore,* tantôt colorée *en bleu d'azur très pâle,* faits qu'on ne saurait réaliser en employant un métal contenant des traces de cuivre.

De ce qui précède, je dois conclure que par la réduction lente des solutions ammoniacales d'argent à l'aide d'un mélange de sulfite d'ammonium et de sulfate cuivrique dissous dans l'ammoniaque, on peut se procurer facilement de l'argent pur, et que ce moyen est à conseiller presque à l'égal de celui qui consiste à opérer cette réduction à 70°, par une solution ammoniacale de sulfite cuivreux.

Le choix entre les deux méthodes est une simple question de temps et d'outillage.

Des solutions ammoniacales du sulfate cuivrique et du sulfite cuivreux propres à la réduction des solutions ammoniacales des sels d'argent. — Il est indispensable que ces solutions soient privées absolument de fer. En effet, l'expérience m'a prouvé que ce métal est entraîné avec l'argent lors de la réduction, et qu'il se trouve dans un état tel qu'un traitement à l'acide sulfurique dilué est incapable de l'enlever, même à la température de 100°.

Digitized by Google

Il est donc nécessaire d'employer des sels cuivriques et cuivreux privés de fer, et d'opérer dans des vases qui ne peuvent pas céder ce métal.

Le sulfate cuivrique dont je me suis servi provenait de l'attaque de l'acide sulfurique dilué de trois fois son volume d'eau par le cuivre de Russie, lors de la préparation de l'anhydride sulfureux. Après lui avoir fait subir plusieurs cristallisations successives, j'ai éliminé le restant du fer en faisant passer à froid un courant de chlore au travers d'une solution saturée de ce sel, et en portant ensuite le liquide à l'ébullition pour en chasser le chlore.

J'ai versé la solution refroidie vers 50° dans de l'ammoniaque concentrée, tant que le sulfate basique qui se produit se redissolvait. En opérant ainsi, une petite partie du sulfate cuivrique ammoniacal formé cristallise par le refroidissement de la masse, et les cristaux entraînent avec eux presque tout l'hydrate ferrique qui était suspendu.

En filtrant la solution éclaircie au travers d'une couche de soie de verre, on l'obtient privée de fer.

J'ai préparé une solution de sulfite cuivreux ammoniacal en faisant passer dans la solution de sulfate cuivrique ammoniacal, saturée à 20° et chauffée vers 100°, simultanément un courant d'ammoniaque gazeuse et un courant d'anhydride sulfureux, jusqu'à *décoloration complète du liquide*.

Ce fait se présente toujours lorsque le sulfate cuivrique employé ne contient pas de sulfate de *cobalt*, et qu'on a soin d'opérer à l'abri du contact de l'air.

Pourvu que l'ammoniaque soit toujours sensiblement en excès, le liquide ne renferme jamais un produit de réduction de l'anhydride sulfureux; le contraire arrive si cet anhydride est en excès.

Par le refroidissement à l'abri de l'air, le liquide dépose une masse saline fibreuse, incolore et transparente; la solution ammoniacale qui surnage se conserve indéfiniment incolore à l'abri du contact de l'air.

Digitized by Google

III. — Argent provenant de la réduction de l'azotate d'argent par une solution alcaline sucrée.

Une solution d'hydrate de potassium, ou de sodium, *sucrée* réduit plus facilement à 100° l'azotate que le chlorure d'argent.

Le métal produit ainsi est blanc, brillant, très dense quoique d'une ténuité extrême.

Après un lavage convenable, il est tout à fait pur s'il a été obtenu *dans un vase d'argent,* avec de l'azotate de ce métal, un hydrate alcalin et du sucre privés de métaux ou de corps étrangers.

En partant de ces données, j'ai préparé à deux reprises de l'argent, en opérant chaque fois sur 100 grammes de ce métal.

Je vais entrer dans quelques détails, parce que je considère ce moyen de se procurer de l'argent pur comme très expéditif.

J'ai dissous dans de l'acide azotique de l'argent d'affinage du titre de 996, contenant du cuivre et du fer, mais privé de plomb et de zinc.

La solution a été évaporée à siccité dans un vase de porcelaine, et le résidu a été fondu et chauffé de manière à réduire une petite partie de l'azotate en azotite. Lorsque, par le refroidissement, le sel a été sur le point de se solidifier, on a remué la capsule de manière à répartir convenablement le sel sur les parois de celle-ci. Après le refroidissement complet, on a versé dans la capsule un poids d'eau égal à celui du sel et l'on a abandonné le tout à lui-même sous une cloche, jusqu'à saturation du liquide. J'ai filtré ensuite la solution, qui était *incolore,* au travers d'un double filtre, en écartant complètement le sel resté indissous, dont la quantité était du reste très petite. J'ai prélevé 5 centimètres cubes du liquide filtré, que j'ai additionnés de 45 centimètres cubes d'eau, et j'ai versé le mélange dans un excès de solution d'hydrate de sodium à 10 °/₀, contenue dans un vase d'argent. Après avoir lavé par décantation l'oxyde d'argent, je l'ai ajouté à la masse de solution d'azotate d'argent, et j'ai porté le mélange à l'ébullition dans un vase de porcelaine. J'ai filtré ensuite le liquide refroidi, puis j'ai utilisé la solution filtrée pour la préparation de l'argent pur, ainsi que je le dirai plus loin.

J'ai voulu m'assurer si le précipité d'oxyde d'argent resté sur le filtre,

Digitized by Google

contenait de l'oxyde de cuivre ou de l'oxyde de fer. L'argent mis en expérience en renfermait $0^{gr},400$. A cet effet, après avoir lavé le filtre à l'eau pure pour enlever la solution d'azotate d'argent qui le mouillait, je l'ai traité par une solution ammoniacale de carbonate d'ammonium, qui a dissous l'oxyde d'argent en colorant en *bleu très foncé* un volume de 50 centimètres cubes du dissolvant, et en laissant de l'hydrate ferrique indissous.

Ainsi, malgré les soins que j'ai pris de chauffer assez fortement l'azotate d'argent fondu pour en ramener une partie en azotite, lors de la reprise du sel par l'eau froide, une quantité assez notable du cuivre et du fer est entrée en solution. Il faut donc, de toute nécessité, recourir à l'action de l'oxyde d'argent, qui se dissout sensiblement dans une solution d'azotate d'argent neutre, pour séparer la totalité du cuivre et du fer de la solution d'azotate produite dans la condition indiquée ci-dessus. Du reste, *Gay-Lussac a déjà reconnu ce fait.*

Pour la réduction de l'azotate d'argent purifié, j'ai pris un *excès* de solution à 10 °/₀ d'hydrate de sodium préparé, dans une bassine d'argent, à l'aide de carbonate de sodium privé de tout métal étranger et d'oxyde de calcium, provenant de la calcination, dans un vase de platine, de carbonate de calcium pur. J'expose ailleurs le moyen employé pour obtenir le carbonate calcique pur.

A l'aide de quelques gouttes de solutions de sulfhydrate de sodium, j'ai transformé en sulfures les traces de cuivre et de fer qui se trouvent dans le saccharose le plus pur. Après la séparation des sulfures métalliques par le repos en vase clos, de la solution sucrée, j'ai converti en hydrate sodique, à l'aide de l'*oxyde d'argent,* l'excès de sulfhydrate sodique employé.

J'ai constaté qu'après ce traitement, la solution de sucre filtrée contenait de l'oxyde d'argent dissous, ainsi que des traces de chaux.

J'ai opéré la réduction en portant, dans une grande bassine d'argent pur, un excès d'hydrate sodique à l'ébullition et en y versant petit à petit un mélange à volumes égaux de la solution sucrée et d'azotate d'argent saturées. L'argent se précipite à l'état de poudre blanche, lourde quoique fine, à mesure que la solution sucrée argentifère tombe dans l'hydrate sodique. La réaction terminée, le liquide qui surnage l'argent a été absolument incolore.

Digitized by Google

Après la décantation de l'eau mère, fortement alcaline et privée d'argent dissous, j'ai lavé, dans le vase d'argent même, le métal à l'eau bouillante, tant que l'eau de décantation a imprimé le caractère sodique à la flamme d'une lampe de Bunsen brûlant dans un air pur. Ce lavage s'est exécuté avec la plus grande facilité et beaucoup plus promptement que celui du métal réduit du chlorure à l'aide d'une solution alcaline sucrée.

Craignant la présence de traces de chaux et de silice dans l'argent, je l'ai lavé d'abord à l'eau faiblement acidulée par l'acide sulfurique, ensuite dans un vase de platine, à l'aide de l'acide fluorhydrique dilué et, enfin, à l'eau pure.

Dans une seconde opération, j'ai substitué une solution d'hydrate potassique pur à la solution d'hydrate sodique. L'hydrate potassique a été préparé à l'aide de l'eau sur l'anhydride potassique obtenu par le procédé de Wöhler, c'est-à-dire par l'action du cuivre divisé sur l'azotate de potassium. Le cuivre que renferme cet hydrate potassique a été séparé à l'aide de l'acide sulfhydrique, et par l'oxyde d'argent on a transformé en hydrate potassique le sulfhydrate produit par l'excès d'acide sulfhydrique employé.

La réduction et les lavages ont été opérés de la même manière. L'état physique de l'argent a été le même, et, aux lavages, le précipité s'est conduit comme le métal obtenu à l'aide de l'hydrate sodique.

Au bout d'une boucle en fil de platine récemment rougie, j'ai introduit successivement dans la flamme bleue d'une lampe de Bunsen, une petite partie de l'argent pulvérulent encore humide. L'un et l'autre métal ont communiqué à la flamme une coloration sodique qui a disparu dès que le métal a été chauffé au rouge. Il n'y a pas eu de différence entre l'intensité colorante imprimée par les deux argents, quoique réduits l'un à la soude, l'autre à la potasse, et la disparition de la coloration a eu lieu de la même manière. Fondus au dard oxycarbohydrique au bout de la boucle de platine, après avoir été rougis, l'argent à la potasse n'a pas communiqué le caractère potassique, le métal à la soude le caractère sodique au dard, et l'analyse prismatique des flammes n'a pas permis de constater l'apparition de la raie sodique plus fortement que dans le dard oxycarbohydrique lancé dans l'air.

Lors de ces essais j'ai prolongé l'expérience jusqu'à la volatilisation de la

Digitized by Google

majeure partie de l'argent qui, en fondant, s'était allié au platine de la boucle en en déterminant la fusion et en formant un gros globule adhérent au fil.

Après ces constatations, j'ai séché à l'étuve la masse d'argent, qui était tout à fait plastique, quoique incomparablement moins que l'argent réduit du chlorure par une solution alcaline sucrée. J'en ai effectué la fusion au dard aérhydrique dans une coupelle de phosphate calcique purifié, et chauffée préalablement au blanc pour chasser autant que possible le sodium.

Le métal s'est fondu sans se couvrir de la moindre tache. J'ai porté le liquide à la température la plus élevée que le permet un dard aérhydrique alimenté par une trompe, et après avoir rendu celui-ci réducteur, j'ai laissé le métal s'y refroidir et se solidifier lentement.

Les culots ainsi traités ont été conservés pour être examinés au point de vue de leur poids spécifique, de leur titre et de leur contenu en gaz. Un des culots, fondu partiellement, s'est montré très légèrement bulleux à sa surface inférieure, et au laminoir il a fait entendre le cri de l'étain et a fourni une lame présentant quelques trous. Il contenait donc du gaz renfermé dans des bulles closes.

Je considère donc l'action d'une solution alcaline sucrée bouillante sur l'azotate d'argent dissous comme un moyen très expéditif pour se procurer de l'argent pur, bien entendu *lorsqu'on dispose d'un grand vase d'argent pour opérer la réduction.*

Depuis l'exécution de ces recherches et la rédaction de cette notice, ayant eu besoin d'assez grandes quantités d'argent pur, j'ai prié M. Rommelaere d'en préparer en suivant, autant que possible, la méthode indiquée ci-dessus. Je me renseignais ainsi de la valeur *pratique* du procédé. *Il a opéré chaque fois sur une quantité qui a varié de 1 à 1 ½ kilogramme d'argent d'affinage.*

Voici du reste les détails d'une préparation exécutée pour l'obtention d'un culot tronconique d'argent pur, destiné à être mis au tour dans le but de me procurer de la *tournure,* un *disque* et un *cylindre d'argent pur.*

Un kilogramme d'argent d'affinage au titre de 0,996 de fin a été mis en œuvre. Le métal fut dissous dans l'acide azotique dilué. La solution fut évaporée à siccité dans un vase de porcelaine, et l'azotate fut fondu et maintenu

Digitized by Google

en fusion pendant un quart d'heure. Après le refroidissement, la masse saline, teintée de gris noirâtre, fut reprise par une quantité d'eau froide, suffisante, à peu près, pour dissoudre le sel. La solution, abandonnée pendant plusieurs heures au repos, fut filtrée au travers d'un double filtre de papier. On préleva un centième environ du liquide filtré qu'on précipita par un *très faible* excès de solution diluée d'hydroxyde sodique pur. On porta dans un vase de porcelaine la solution d'azotate à l'ébullition et l'on y ajouta le précipité d'oxyde argentique préalablement lavé par décantation. Après quelques instants d'ébullition, le liquide fut abandonné au refroidissement, puis filtré.

Dans la solution azotique d'argent, on dissolva, *à saturation*, du sucre de canne raffiné, le plus pur qu'on put se procurer, et l'on ajouta petit à petit la solution argentique sucrée à un *excès* de solution d'hydroxyde de sodium à 10 °/₀, privé absolument de fer, en ébullition dans une grande bassine d'argent pur. On entretint l'ébullition jusqu'à ce que le précipité d'argent, réduit d'abord en poussière *légère*, d'un gris légèrement violacé, fût devenu blanc et *lourd*. Après s'être assuré que l'eau mère était fortement alcaline et sucrée, on procéda par décantation au lavage de l'argent. On continua le lavage jusqu'à disparition de toute réaction alcaline. L'argent lavé fut introduit dans un vase de platine et traité successivement *à froid* par de l'acide sulfurique pur et dilué, par de l'acide fluorhydrique pur et dilué et enfin par de l'eau jusqu'à disparition de toute acidité. Enfin l'argent fut séché dans une étuve à air chaud. La dessiccation étant effectuée, j'ai soumis moi-même le métal pulvérulent blanc aux essais suivants :

J'ai introduit 50 grammes environ dans une coupelle de *phosphate de calcium* basique privé absolument de métaux étrangers, préalablement rougie au dard aérhydrique alimenté à l'*hydrogène pur* et à l'air extérieur lavé à la trompe. Le métal s'y est fondu sous l'influence du dard, sans colorer la flamme et sans se couvrir de la moindre tache, tant que la température a été simplement suffisante pour maintenir l'argent en fusion, que le dard fût *oxydant* ou *réducteur*.

En élevant fortement la température et en rendant le dard oxydant, la surface du sphéroïde s'est couverte d'*un givre jaune d'oxyde d'argent*, se réduisant immédiatement dans le dard réducteur.

Digitized by Google

Le sphéroïde, *lentement* refroidi et solidifié dans le dard réducteur, a fourni un lingot dont la surface supérieure était d'un blanc mat et offrait au centre une forte dépression.

La surface inférieure convexe était unie et brillante.

Les surfaces supérieure et inférieure, chauffées successivement au dard aérhydrique, sont entrées en fusion sans se soulever et sans donner naissance à des bulles.

Cinquante grammes environ du métal pulvérulent ont été introduits dans une coupelle de charbon de cornue pur, préalablement rougie pour chasser le sodium. Le métal s'est fondu au dard aérhydrique, sans colorer la flamme et sans se couvrir de la moindre tache. La surface du métal est restée nette et brillante, soit que le dard fût oxydant ou réducteur.

Ayant laissé se solidifier le métal dans le dard rendu réducteur, il a fourni un lingot d'un blanc mat à sa surface supérieure et brillant à sa surface inférieure.

La surface supérieure, chauffée suffisamment, est entrée en fusion sans se soulever ni produire des bulles. La surface inférieure, liquéfiée, s'est soulevée par points et a fourni quelques petites bulles gazeuses.

La coupelle de charbon dans laquelle l'essai a été effectué était entièrement argentée.

Les deux essais ont été exécutés à l'aide d'un chalumeau en argent pur; ils ont exigé *six cents litres d'hydrogène pur emmagasiné sur l'eau dans un grand gazomètre.*

Les propriétés constatées ci-dessus étant caractéristiques de l'argent pur, on a procédé à la fusion de la masse restante du métal pulvérulent. On a effectué cette fusion dans un grand creuset de porcelaine vernie, contenu dans un creuset de Hesse couvert. A cet effet, l'argent pulvérulent, enveloppé d'une couche de borax desséché, avait été mêlé d'une certaine quantité de borax fondu, privé absolument de métaux étrangers et concassé. Sachant que les azotates alcalins fournissent de l'oxygène à l'argent fondu, on s'est abstenu d'additionner le borax d'azotate de sodium.

Après la fusion de la masse et le refroidissement des creusets, la couche de borax fondu était colorée en jaune avec une légère pointe de *vert.* Le

Digitized by Google

creuset de porcelaine couvert de son couvercle était parfaitement intact. Il a été brisé à coups de marteau et pour ainsi dire pulvérisé, pour détacher la porcelaine soudée par le borax au culot d'argent, dont toute la surface était parfaitement brillante. Pour enlever au métal le borax resté adhérent, on a maintenu le culot dans de l'eau distillée, très faiblement acidulée à l'acide chlorhydrique, en ébullition dans un vase de porcelaine, jusqu'à ce que l'eau ne communique plus la réaction sodique à la flamme d'une lampe de Bunsen, ce qui ne s'est réalisé que très lentement.

L'examen du culot débarrassé complètement de borax m'a permis de reconnaître que la surface supérieure, parfaitement lisse, présentait une forte dépression irrégulière, due au retrait du métal lors de la solidification de l'argent liquéfié.

Le fond du culot, qui s'était moulé sur le fond du creuset de porcelaine, offrait deux petites cavernes. L'existence de ces deux cavités me semble prouver que le métal a emprunté des gaz au borax au sein duquel il a été fondu. Le borax lui-même n'a pu prendre ces gaz qu'au milieu entourant le creuset de porcelaine, c'est-à-dire à l'atmosphère du creuset de Hesse qui le contenait.

D'après les résultats consignés au commencement de ce travail, le culot d'argent devait renfermer des traces de sodium emprunté au borax. Avant de le fixer sur le tour, j'ai procédé à l'élimination de ce sodium en chauffant le culot, *près de son point de fusion*, à l'aide d'un dard de chalumeau aér-hydrique alimenté par le gaz de l'éclairage et l'air amené par une trompe à eau. J'ai maintenu le culot dans ce dard jusqu'à ce que le spectre de la flamme passant à la surface ne fût pas plus sodique que le spectre de cette flamme dans l'air de la salle où s'exécutait ce traitement. Il a fallu au delà d'une heure de chauffe pour réaliser ce résultat.

Pendant l'opération, j'ai eu soin d'amener *en pleine fusion*, d'abord une partie de la base du culot dont la surface était déprimée, puis successivement des parties de la surface convexe en s'élevant de la base jusqu'au sommet du cône tronqué. J'ai constaté ainsi que le métal formant la base et le métal constituant le tiers de la hauteur de la surface convexe, à partir de cette base, peuvent être fondus sans se soulever ni produire des bulles

Digitized by Google

gazeuses; que vers le milieu de la hauteur du culot, la surface du métal se soulève sensiblement lors de sa fusion et dégage une suite de rares petites bulles gazeuses; qu'il en est de même près du sommet du cône tronqué, mais à un degré moindre. Le culot était donc formé à sa base, c'est-à-dire à sa partie supérieure, de métal privé de bulles gazeuses, tandis que le restant était très légèrement bulleux.

Ces faits étant constatés, on a mis au tour le culot, dont le poids était de 870 grammes, et en ayant soin de ne pas toucher à la base jusqu'au quart de la hauteur du cône tronqué, on a amené au tour le diamètre des trois quarts restants au diamètre de son sommet, en détachant des tournures fines d'argent. On a séparé ensuite au tour le cylindre du disque formant la base du culot tronconique, et l'on a obtenu ainsi un poids de *tournures* s'élevant à 350 grammes environ, un *disque* et un *cylindre* pesant chacun environ 250 grammes.

J'expose plus loin l'usage que j'ai fait des tournures et du cylindre, après les avoir, au préalable, parfaitement décapés à l'acide chlorhydrique dilué pour enlever le fer amené par l'outil. Le disque a été conservé, pour la mesure de son poids spécifique, dans son état actuel et après avoir été frappé au balancier.

IV. — Argent provenant de la réduction de l'azotate de ce métal par un mélange de formiate et d'acétate d'ammoniaque.

J'ai voulu me procurer de l'argent métallique obtenu à l'aide d'agents complètement volatils à température relativement basse, afin de ne pas être obligé de recourir à la fusion du métal et d'éviter ainsi la présence possible de gaz *occlus* ou *reclus*.

Dans ce but, j'ai eu recours à la faculté réductrice bien connue de l'acide formique à l'état de formiate d'ammonium. On le conçoit, la réussite de l'opération dépend essentiellement de la pureté des produits employés lors de la réduction. Si l'azotate d'argent contient du cuivre ou du fer, le métal réduit en renfermera une partie; si le formiate d'ammoniaque est silicifère, comme c'est le cas de ce sel produit avec de l'ammoniaque condensée dans

Digitized by Google

de l'eau contenue dans du verre, l'argent précipité renfermera de la silice, *ainsi que je m'en suis assuré.*

Voici comment je m'y suis pris pour me procurer de l'argent précipité ne renfermant aucun corps étranger et, partant, ne devant pas être soumis à la fusion et à l'affinage.

D'une part, j'ai dissous dans une cornue de platine, de l'argent *pur* grenaillé, à l'aide de l'acide azotique distillé dans le platine. L'acide ne laissait pas à la volatilisation la moindre trace de résidu. La solution azotique a été évaporée avec précaution, jusqu'à siccité, dans la cornue dont le col se rendait dans un ballon. Le sel a été dissous dans l'eau pure et la solution a été versée dans une grande capsule de platine, couverte d'une cloche à parois mouillées pour l'abriter des poussières de l'air.

D'autre part, à l'aide d'un tube de caoutchouc privé de toute matière fixe, j'ai saturé d'ammoniaque de l'eau pure, contenue dans la cucurbite de la cornue de platine, et à laquelle j'avais ajouté un cinquième de son volume d'un mélange à volumes égaux d'acide formique à 75 °/₀ et d'acide acétique *purs*.

L'addition de l'acide acétique et sa transformation en acétate d'ammoniaque ont eu pour but de remplacer l'ammoniaque que le formiate perd par l'ébullition de sa solution et notamment sous l'influence de l'argent précipité. Ce métal, en effet, à l'état de grande division, élimine de l'ammoniaque du formiate, absolument comme le noir de platine qui jouit de cette propriété même à la température ordinaire.

Une solution d'acétate et de formiate d'ammoniaque formée dans les conditions que je viens d'indiquer, c'est-à-dire par la saturation *dans un vase de platine* des acides acétique et formique, à l'aide de l'ammoniaque gazeuse, amenée par un tube en caoutchouc, ne communique à la flamme aucun caractère sodique; on peut l'introduire dans la flamme d'une lampe de Bunsen sans apercevoir trace de raie sodique, si toutes les opérations ont été exécutées dans *un air non sodique*.

Pour effectuer la réduction de l'azotate d'argent, j'ai versé sa solution petit à petit dans la solution étendue d'acétate et de formiate ammoniques légèrement acide, en ébullition dans une bassine d'argent pur. La réaction

Digitized by Google

est d'une netteté extrême; tant qu'il reste de l'acide formique, l'addition de la solution argentique provoque un dégagement plus ou moins vif d'anhydride carbonique et une précipitation d'argent à l'état de *flocons* d'un noir grisâtre. Ces flocons se réduisent en une poussière fine, d'un gris jaunâtre, sous l'influence de l'ébullition de l'eau mère entretenue suffisamment longtemps.

Après l'éclaircissement du liquide qui répandait une forte odeur d'acide acétique, et contenait une notable quantité d'acétate et de formiate d'ammoniaque non dissociés, j'ai décanté l'eau mère et j'ai procédé à l'eau bouillante et, autant que possible, à l'abri du contact de l'air du laboratoire, au lavage du métal pulvérulent. Ce lavage s'est effectué facilement, mais incomparablement plus lentement que le métal réduit par l'addition d'une solution d'azotate d'argent à une solution alcaline sucrée bouillante.

Quoi qu'il en soit de la lenteur relative de ce lavage, je l'ai continué, à l'eau bouillante, jusqu'à ce que le liquide décanté n'eût plus de réaction acide. Il a fallu *dix-huit* lavages pour arriver à ce résultat.

Avant de soumettre la bouillie d'argent divisé à la dessiccation, j'en ai prélevé une petite partie au bout d'une boucle en fil de platine qui venait d'être rougie à l'instant même. Introduite dans la flamme bleue d'un brûleur de Bunsen, elle l'a coloré en jaune d'une manière *très fugitive* et certainement pas plus intensément qu'un fil de platine ou d'argent, abandonné, après avoir été rougi pendant quinze minutes, sous une cloche dans l'air du laboratoire. Après la disparition de la légère coloration sodique, j'ai pu déterminer la fusion de l'argent et la volatilisation d'une partie sans provoquer l'apparition de la raie sodique plus fortement que dans le dard aérhydrique lui-même.

Dans une *seconde* préparation de l'argent par cette méthode, en opérant *dans de l'air d'une pureté exceptionnelle,* et à l'aide d'azotate d'argent, de formiate et d'acétate ammoniques privés absolument de sodium, j'ai obtenu du métal précipité et lavé qui, introduit encore *humide* dans la flamme, ne lui a pas communiqué le *moindre* caractère sodique.

Après cet essai, j'ai versé la bouillie de métal divisé dans un creuset d'argent qui venait d'être rougi; après le repos sous une cloche, j'ai décanté

Digitized by Google

le plus possible l'eau surnageante. Le liquide décanté n'a communiqué aucun caractère sodique à la flamme d'un brûleur de Bunsen. J'ai placé le creuset couvert d'une feuille de platine récemment rougie, à l'étuve chauffée à 100°, et j'ai opéré la dessiccation avec les plus grandes précautions, pour ne pas déterminer l'adhérence du métal au récipient.

Déjà à 100° la soudure des particules s'effectue sensiblement, lors même que la dessiccation n'est pas complète, et avec un fort retrait lorsque la dessiccation est achevée. A 200°, la soudure est telle qu'on peut, à l'aide d'une pince, retirer la masse du creuset, sauf toutefois les parties qui ont contracté de l'adhérence avec les parois. J'ai fait reposer le culot par deux points sur des blocs d'argent pur, et je l'ai chauffé de 350° à 440°, température à laquelle les particules ont tellement adhéré les unes aux autres, que j'ai pu laminer une partie de la masse sans en provoquer la déchirure.

J'ai chauffé, au dard aérhydrique, dans une coupelle de phosphate de chaux basique pur, préalablement rougie à blanc pour en chasser, autant que possible, le sodium, quelques grammes de cet argent. Le métal, après avoir imprimé très fugitivement le caractère sodique au dard, s'est fondu sans se couvrir de la moindre tache.

J'ai volatilisé au dard *oxhydrique*, à *deux* reprises, lorsque l'état de l'air me l'a permis, chaque fois au delà de *2 grammes* d'argent du formiate. Le métal soumis à la volatilisation était contenu dans un *petit cylindre creux de charbon de cornue* ABSOLUMENT PUR, ouvert par les deux bouts et qui venait d'être chauffé à blanc pour en éliminer le sodium accidentel. Le cylindre lui-même était renfermé dans un bloc de chaux de marbre blanc dont on avait éliminé, *autant que possible*, à l'aide du dard *oxycarbohydrique*, le sodium accidentel.

Depuis le commencement jusqu'à la fin de la volatilisation que j'ai opérée au point de fusion de l'iridium, c'est-à-dire à la température la plus élevée à laquelle on puisse atteindre par l'action chimique, j'ai observé le spectre de la flamme bleue, légèrement *violacée*, comme l'est celle de l'arc électrique dans l'air pur, se dégageant par l'ouverture antérieure du cylindre, *sans apercevoir un seul instant la raie sodique, ou le spectre de la vapeur d'argent,* mais bien celui *du carbone tel qu'on l'aperçoit par l'analyse prismatique du cône interne du chalumeau oxycarbohydrique.*

Digitized by Google

Le dard était cependant chargé de vapeur d'argent au point de déposer des globules de métal et de couvrir d'oxyde jaune d'argent une plaque de marbre blanc placée à 5 centimètres de l'ouverture antérieure du cylindre, et de répandre dans l'air des vapeurs d'oxyde jaune d'argent, en lui communiquant une forte saveur métallique.

Cette expérience capitale, dont l'exécution a été d'une difficulté extrême pour se mettre à l'abri du sodium accidentel du support et de la fusion de l'ajutage de platine du chalumeau oxhydrique, qui a été rendu à dessein long et fort épais, a été, je le répète, refaite à *deux* reprises dans *un air d'une pureté exceptionnelle.* Elle m'a pleinement convaincu de *l'impossibilité de dissocier l'argent de manière à faire naître du sodium.*

Je fais connaître plus loin les essais auxquels j'ai soumis le métal chauffé vers 440° en présence de l'air.

V. — Du choix à faire entre les différentes méthodes de préparation de l'argent.

Pour satisfaire au désir qui m'a été exprimé par quelques chimistes, je vais exposer brièvement mon avis sur le choix à faire entre les différentes méthodes de préparation de l'argent pur.

A l'aide de l'argent d'affinage cuprifère et ferrifère, tel qu'on peut se le procurer dans le commerce, on obtient plus facilement et plus promptement une solution d'azotate d'argent privée de tout métal étranger, que du chlorure d'argent lequel, après de longs lavages, retient presque toujours du cuivre et du fer, qu'il est nécessaire, après l'avoir séché à basse température, de lui enlever, à l'aide d'un traitement spécial, à l'eau régale, suivi d'un nouveau lavage. Il convient donc d'écarter tout procédé qui repose sur l'*emploi du chlorure d'argent.*

D'après les faits exposés ci-dessus, le choix doit donc se faire entre la réduction de l'azotate d'argent pur par :

1° Une solution alcaline sucrée ;

2° Une solution de sulfite cuivreux ammoniacal ;

3° Une solution d'un mélange d'acétate et de formiate d'ammoniaque.

Digitized by Google

De ces trois modes de réduction, celui qui repose sur l'emploi du sulfite cuivreux ammoniacal est le plus *laborieux ;* il expose en outre à produire de l'argent contenant des traces de cuivre.

Lorsqu'il s'agit de préparer à la fois une quantité de métal dépassant *cent grammes,* c'est à la réduction de l'azotate d'argent par une solution alcaline sucrée, qu'il convient, à mon avis, de donner la préférence; mais se bornant à un *maximum* de *cent grammes,* c'est la réduction au formiate d'ammoniaque qui doit l'emporter.

La solution d'hydrate sodique, pouvant être obtenue avec plus de facilité à l'état de pureté que la solution d'hydrate potassique, doit être préférée pour la réduction qui exige, de toute nécessité, l'emploi d'*un vase d'argent.*

Au besoin, la réduction de l'azotate d'argent par les formiate et acétate d'ammoniaque peut s'exécuter dans un vase de porcelaine couvert d'un vernis dur.

Pour être certain d'avoir enlevé au métal obtenu par l'un ou l'autre de ces modes de réduction, les traces d'alumine, de chaux et de silice qu'il peut retenir, il importe de le traiter successivement, *à froid,* dans un vase de platine, par les acides sulfurique et fluorhydrique *purs* et *dilués,* et enfin à l'eau pure.

La fonte, au dard aérhydrique, du métal réduit, doit, à mon avis, être effectuée de préférence dans des coupelles confectionnées avec du *phosphate calcique* basique pur, finement broyé, lavé soigneusement à l'eau, fortement comprimées à l'état de pâte humide, et rougies à blanc, au dard aérhydrique, après avoir été séchées à l'air, à la température ordinaire. Les surfaces du métal fondu dans des coupelles de phosphate calcique sont plus nettes et plus brillantes que celles dont la fusion a été opérée dans une cavité de chaux qui, du reste, peut introduire des traces de calcium dans le métal ainsi que je l'ai reconnu avec certitude. A moins qu'on ne se propose de faire des recherches sur des barreaux, des culots ou sur des lames, l'état le plus favorable à donner à l'argent solidifié est celui de grains ou de grenailles *non rochés,* obtenus en versant dans de l'eau, d'une hauteur convenable, le métal fondu, *refroidi dans un milieu réducteur jusqu'à près de son point de solidification,* ainsi que je l'ai pratiqué et exposé dans mes *Nouvelles*

Digitized by Google

recherches sur les lois des proportions chimiques (voir page 46, *Titre de l'argent de différentes provenances*). Mais que l'argent soit à l'état de barreaux, de culots, de lames, de grains ou de grenailles, *le métal doit être rougi dans un creuset d'argent pour chasser l'eau qui peut y exister, et doit être soumis ensuite au* ROUGE SOMBRE, *dans un courant d'hydrogène purifié,* ainsi que je l'expose dans la notice suivante.

L'argent ainsi traité acquiert une blancheur remarquable, et son titre est plus élevé que celui du métal qui n'a pas été rougi d'abord à l'air et ensuite dans l'hydrogène.

VI. — Des conditions dans lesquelles l'argent pur chauffé dans l'air, dans l'hydrogène, dans l'oxhyde carbonique, conserve son poids ou subit une perte de poids.

En 1861, à l'occasion de l'analyse de l'iodate d'argent, dans laquelle j'avais à faire passer sur de l'argent *divisé,* l'oxygène provenant de la dissociation de son iodate, j'ai recherché si l'argent éprouve un changement de poids lorsqu'on le chauffe au *rouge sombre* dans un courant d'air. Dans une note insérée pages 176 et 177 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques,* etc., j'ai rendu compte de ces investigations. J'ai constaté alors qu'au rouge sombre il n'y a ni diminution, ni augmentation de poids; mais qu'au *rouge vif,* ce métal, divisé et mélangé de verre réfractaire pulvérisé, augmente de poids par suite de l'absorption de l'oxygène et de la formation de silicate d'argent.

Il y a vingt-deux ans, j'ai institué des expériences en collaboration de M. Arthur Nyst, essayeur à l'Administration des Monnaies à Bruxelles, dans le but de rechercher s'il est possible d'effectuer un dosage exact d'argent et de mercure, en soumettant leur amalgame *à une température convenable,* dans un courant d'hydrogène.

La réussite de la recherche présuppose nécessairement qu'à la température à laquelle la totalité du mercure est entraînée par l'hydrogène, l'argent lui-même ne se volatilise pas. Nous avons constaté, à cette époque, qu'en opérant sur de la tournure fine ou des lames minces d'*argent pur, préalable-*

Digitized by Google

ment chauffées près de leur point de fusion, on peut exposer 5 grammes de ce métal dans un courant d'hydrogène à la température d'un *rouge sombre,* sans lui faire subir *une perte de poids* de $\pm$ 0^{mgr},01. Nous avons observé, au contraire, qu'en portant la température au *rouge vif,* l'argent à l'état de tournures fines ou de lames minces subit, dans un courant d'hydrogène, et *d'une manière continue,* une perte qui s'élève en moyenne à *un millième* de sa masse par *dix minutes* de chauffe.

L'expérience nous a démontré en outre qu'à la température à laquelle l'argent pur se volatilise déjà très sensiblement, le métal amalgamé retient encore notablement de mercure.

Je me suis abstenu de publier le résultat de ces essais par le motif de l'insuccès de la tentative de doser le mercure en chauffant l'amalgame d'argent dans un courant d'hydrogène, et parce qu'à cette époque j'étais loin de soupçonner qu'on mettrait un jour en doute l'exactitude de mes détermina-tions de poids atomiques, en alléguant la possibilité de l'existence de gaz, et notamment de l'oxygène, dans le métal argent *dans l'état* sous lequel je l'ai employé dans mes expériences.

Le fait, constaté par M. Nyst et par moi, de la conservation du poids de l'argent *pur* exposé au *rouge sombre* dans un courant d'hydrogène, a son importance. En réalité, il est inconciliable avec la présence d'une quantité de gaz oxygène dans ce métal solidifié, dépassant la limite indiquée ci-dessus. L'argent est, vers 600°, très perméable à l'hydrogène; ce gaz, dont le pouvoir diffusif est si considérable, doit pénétrer dans le métal et en éliminer l'oxygène qui y serait contenu, *quel que soit son état chimique ou physique actuel.* On le sait, à température *élevée,* l'argent dissout l'oxygène. Ce métal, qui a dissous ce gaz, dégage, sous le dard oxhydrique, d'abondantes vapeurs d'un *mélange* de métal et d'oxyde jaune d'argent, qu'on peut, ainsi que je l'ai reconnu, con-denser et conserver indéfiniment sur une feuille de ce métal.

L'acide acétique dissout *à froid* l'oxyde, et laisse des *globules très brillants,* parfaitement sphériques, de ce métal.

L'argent solidifié renferme-t-il de l'*oxyde* de ce métal dissous ou interposé, comme c'est le cas du cuivre *rosette,* qui contient de l'*oxydule* de cuivre, ou contient-il exclusivement de l'oxygène *occlus* ou de l'oxygène *reclus?*

Digitized by Google

J'appelle *occlusion* l'état dans lequel l'hydrogène se trouve dans le palladium chargé électrolytiquement de ce gaz, et *réclusion* l'état dans lequel existent les gaz dans certains solides, c'est-à-dire emprisonnés dans des cavités ou bulles dont ils ont déterminé la formation, en abandonnant, lors de leur solidification, le liquide qui les tenait *en solution*.

En 1886, M. le professeur J.-D. Van der Plaats, d'Utrecht [1], ignorant naturellement les faits observés par M. Nyst et par moi, et les recherches postérieures entreprises avec l'assistance de M. Rommelaere, a soumis à la température *rouge sombre*, l'argent pur à l'état de *granules*, successivement à un courant d'*air*, à un courant d'*hydrogène* et à un courant d'*oxyde carbonique*. Il a obtenu les résultats suivants :

Poids de l'argent	10,206.70 gr
Poids du métal chauffé dans un courant d'air	10,206.80
Poids du métal chauffé dans un courant d'hydrogène. . .	10,206.65
Poids du métal chauffé dans un courant d'oxyde carbonique.	10,206.75

Ne pouvant garantir l'exactitude de la pesée qu'à $0^{mgr},1$, il a conclu, avec raison, à l'absence de l'oxygène dans les granules d'argent soumis à l'expérience; mais il n'a pas admis que la conservation du poids fût une preuve de l'absence de gaz occlus, ainsi que je l'ai dit ci-dessus. Pour se renseigner à ce sujet, il a soumis pendant trois heures, dans le vide d'une trompe de Sprengel, à la température rouge sombre (600°), le métal qu'il avait exposé successivement, à la même température, à un courant d'air, d'hydrogène et d'oxyde carbonique, et il reconnut qu'après ce laps de temps *l'argent n'avait pas changé de poids hors de la limite de l'exactitude de la pesée.*

Il résulte des faits consignés ci-dessus que l'argent *pur*, sous forme de tournures fines, de lames minces, de granules, rougies dans l'air, ne perd pas de son poids, étant exposé au rouge *sombre* dans un courant d'hydrogène. Le métal soumis à l'essai ne contenait donc pas *une quantité* d'oxygène appréciable dans la limite d'exactitude de la pesée. Cependant il est hors de

[1] *Over het voorkomen van zuurstof in zilver*, door J.-D. Van der Plaats (Maandblat voor natuur wetenschappen, 1886, n° 2, pp. 6 et 7).

Digitized by Google

doute que sous forme de lingot, de culot, de barreau, même de grain ou de grenaille non rochée, l'argent peut renfermer et contient souvent des petites bulles gazeuses. On peut s'assurer aisément de la présence ou de l'absence de bulles closes en soumettant le métal au *laminage* ou à la *frappe*. En cas d'existence de bulles closes, les lames suffisamment amincies, ou le disque frappé, ou les grains, présentent des *soufflures* qui souvent se déchirent et se transforment en véritables trous, en continuant le laminage ou la frappe. Ces faits, parfaitement connus des ouvriers qui travaillent l'argent, s'observent constamment lorsque le métal fondu contient des gaz et qu'il est brusquement refroidi et coulé avant le dégagement de ces gaz ou avant leur élimination par un gaz réducteur.

Le même fait se présente pour l'eau aérée congelée, pour le platine, l'iridium et le platine iridié fondus, ainsi que Sainte-Claire-Deville, M. G. Matthey et moi nous l'avons constamment observé; comme on l'a constaté pour le cuivre, le bronze, le laiton, l'acier; comme je l'ai constaté pour l'or fondu sous le borax, le chlorure d'argent fondu dans le chlore; enfin, pour les chlorures alcalins fondus avec le sel ammoniac et coulés avant que le gaz hydrogène et l'azote dissous aient eu le temps de s'échapper par un repos suffisamment prolongé à haute température.

Les phénomènes, faciles à suivre, qui se passent lors de la solidification des chlorures alcalins fondus et contenant des gaz en solution, permettent de se faire une idée exacte du mécanisme de la production des *bulles*.

Si la solidification des chlorures fondus s'effectue brusquement, les gaz éliminés par la solidification restent uniformément répandus dans la masse, sous forme de bulles presque microscopiques, et rendent la *masse opaline*, absolument comme l'eau aérée brusquement congelée.

Si la solidification des chlorures fondus, saturés de gaz, s'opère *lentement*, les faits se présentent sous un tout autre aspect : les parois seules du culot sont opalines, et l'on voit, pendant la solidification de la masse, la partie supérieure du culot s'élever fortement, quelquefois se déchirer; le volume du chlorure solidifié, au lieu d'être moindre, est presque double de celui du liquide qui lui a donné naissance.

En examinant le culot après son refroidissement, on constate l'opalinité

de ses parois, la transparence parfaite du chlorure qui se trouve en contact avec les parois opalines, enfin, au centre du culot, *une cavité* de forme lenticulaire, dont l'espace est égal tantôt au quart, tantôt au tiers du volume total du culot. Cette cavité est occupée par les gaz éliminés du chlorure lors de sa solidification. En opérant sur du chlorure de sodium fondu avec du sel ammoniac, j'ai reconnu que le gaz *reclus* se compose d'azote et d'hydrogène.

Il y a soixante ans, mon vénéré maître Dumas a constaté que le sel gemme décrépitant de Wieliczka, en Pologne, doit cette propriété au gaz hydrogène presque pur qui y existe, *à pression élevée,* dans des bulles.

L'argent liquéfié contenant des gaz les abandonne, en partie du moins, en devenant solide, soit en rochant, ainsi qu'on le sait, soit par la partie inférieure en donnant naissance à des cavernes, soit à des cavités *closes* vers le centre de la masse métallique, renfermant souvent des gaz *à pression élevée.* Dans des notices spéciales, j'expose les recherches que j'ai instituées pour résoudre la question de savoir quelle est la capacité des cavités existant dans l'argent qui a servi à mes déterminations des poids atomiques et dans le métal préparé pour le travail de revision, ainsi que pour déterminer le *volume* et la *nature* des gaz contenus dans ces cavités. L'argent renferme-t-il des gaz sous un état autre que celui de bulles closes ou à l'état de réclusion? La réponse à cette question se déduira forcément des faits que j'exposerai plus loin. Je vais rendre compte actuellement des recherches que j'ai faites, avec l'assistance de M. Rommelaere, dans le but de m'assurer des conditions dans lesquelles l'argent pur, chauffé dans de l'*air,* dans de l'*hydrogène* ou de l'*oxyde carbonique,* conserve son poids ou subit une perte de poids.

VII. — Du mode de recherche de la température à laquelle l'argent pur chauffé dans de l'air conserve son poids ou subit une perte de poids.

Pour la recherche des conditions de température à laquelle l'argent pur, chauffé *dans l'air,* conserve son poids ou perd de son poids, et pour la reproduction à volonté de ces conditions, j'ai eu recours à l'analyse prismatique des radiations émises par l'intérieur d'un tube massif de platine laminé,

Digitized by Google

clos par un bout, ouvert par l'autre bout, chauffé dans un moufle garni de platine d'un fourneau à gaz de Wiesnegg, successivement :

1° Au rouge naissant;

2° Au rouge sombre;

3° Au rouge vif;

4° Au rouge clair;

5° Au blanc,

et à la pesée de l'argent exposé, pendant un temps donné, aux températures correspondantes.

J'ai pris les dispositions suivantes pour exécuter les observations relatives aux conditions de température.

Après avoir bouché, à l'argile plastique, les fentes du moufle du fourneau et avoir garni complètement ce moufle de feuilles de platine, j'y ai introduit deux chevalets du même métal, du poids de 168 grammes, sur lesquels j'ai placé horizontalement le tube de platine bouché de manière qu'il se tînt au centre du moufle sans toucher nulle part à ses parois platinées. Il était chauffé ainsi exclusivement par les radiations de la garniture de platine. Ce tube de platine était formé d'une lame de ce métal, longue de 145 centimètres et large de 12 centimètres, du poids de 875 grammes, roulée sur elle-même, de manière à constituer un cylindre de 12 centimètres de longueur et de 45 millimètres de diamètre. Ce cylindre était engagé dans un tube épais de platine, bouché, d'un bout, à fond plat, du poids de 217 grammes, de 45 millimètres de diamètre et de 48 millimètres de hauteur. Le système, y compris les chevalets, pesait 1260 grammes, masse dont l'échauffement et le refroidissement alternatifs étaient assez lents pour permettre des observations exactes des radiations émises par l'intérieur du cylindre.

Le bout ouvert du cylindre-tube pénétrait dans un disque de porcelaine dégourdie, ayant une ouverture égale au diamètre extérieur du tube. Ce disque était engagé à son tour dans une ouverture pratiquée au centre d'une plaque épaisse de terre réfractaire cuite, servant de porte au moufle. Cette plaque avait un tablier sur lequel reposaient deux plaques épaisses, rectangulaires, de charbon de cornue, parfaitement dressées et pouvant être

Digitized by Google

rapprochées ou éloignées, de manière à constituer une fente de longueur convenable, destinée au passage d'un faisceau de lumière émise par l'intérieur du cylindre de platine.

Devant et très près des rectangles de charbon de cornue était fixée, sur un support libre, une feuille de platine qui avait à son centre une ouverture de 1 centimètre carré. La feuille était placée de telle manière que le centre de son ouverture était en coïncidence avec le centre du cylindre-tube. La hauteur du faisceau lumineux était ainsi limitée à 1 centimètre et la largeur utilisable de la fente ne pouvait en aucun cas dépasser cette distance. Le faisceau de lumière émanée du tube était ainsi éloigné d'environ 2 centimètres des parois de celui-ci.

L'observation du degré de l'échauffement de l'intérieur du tube s'est faite alternativement par M. Rommelaere et par moi, et successivement à l'œil nu et au spectroscope. A cet effet, un spectroscope Steinheil, muni d'un micromètre à projection lumineuse, pour pouvoir juger et mesurer l'*étendue* du spectre continu produit, et un spectroscope à vision directe de M. Hilger [1], étaient disposés à hauteur convenable, le plus près possible du système d'appareil, sur un trépied de photographe, très solide, à roulettes. On le sait, grâce aux mécanismes multiples dont ces trépieds sont munis, on peut mouvoir successivement le tablier qu'ils supportent, horizontalement ou verticalement, en avant, en arrière ou de côté. On a amené ainsi facilement et exactement les spectroscopes déposés sur le tablier devant, au centre et très près de la fente d'où émanaient les radiations lumineuses. On a rendu les observations le plus précises possible en transformant en chambre obscure la vaste salle dans laquelle l'appareil était monté.

Le fourneau de Wiesnegg, surmonté d'une cheminée de tôle à registre, était placé dans une cage voutée en communication avec une bonne cheminée d'appel. Il était chauffé à l'aide du gaz de l'éclairage, brûlant au bout de quatre becs aplatis de lampes de Bunsen, *à la pression constante de 25 millimètres d'eau.* A la canalisation du gaz, j'avais fait adapter un large

[1] La description du spectroscope Steinheil et du spectroscope à vision de M. Hilger est donnée dans l'introduction de mes *Recherches spectroscopiques.*

Digitized by Google

tube en Y, muni d'un robinet à chacune de ses ouvertures. La clé d'un des robinets avait une ouverture de 10 millimètres de diamètre et la clé à cadran du second robinet avait une ouverture de 4,5 millimètres.

Lorsque le premier de ces robinets était complètement ouvert, le débit du gaz était tel qu'en moins de 5 minutes le moufle garni de platine était chauffé au rouge naissant, et qu'en 14 à 17 minutes il était porté au point de fusion de l'argent, qui m'a semblé la température la plus élevée à laquelle on puisse atteindre pour la pression de 25 millimètres d'eau. En fermant la clé du premier robinet et en ouvrant complètement la clé à cadran du second, il a fallu, pour porter le platine garnissant le moufle au *rouge naissant,* 15 à 18 minutes; au *rouge sombre,* 25 à 29 minutes; au *rouge vif,* 36 à 40 minutes. Après avoir introduit le cylindre dans le moufle platiné, malgré sa masse si considérable, il n'a fallu que 20 à 23 minutes pour porter l'intérieur du tube au rouge naissant.

Pour l'exécution des observations spectroscopiques, j'ai rétréci *la fente du collimateur des spectroscopes, au point de voir le plus distinctement possible les raies de von Fraunhofer, les instruments étant dirigés vers le ciel* BLANC.

Ces constatations étant faites, nous avons procédé aux observations qui ont fourni les résultats suivants :

1° *En ce qui concerne l'apparition du rouge naissant :*

Lorsque M. Rommelaere et moi nous avions séjourné préalablement au moins 15 minutes dans les ténèbres, il y a eu concordance de jugement, *à une demi-minute près,* pour l'appréciation, *à l'œil nu,* de l'apparition du rouge naissant, c'est-à-dire entre l'obscurité et *une faible lueur rougeâtre.* Substituant alors les spectroscopes à l'œil nu, nous avons constaté *un espace spectral absolument obscur,* et cela quelle qu'ait été l'ouverture de la fente des instruments.

Ces observations, répétées un très grand nombre de fois, ont donné constamment le même résultat, c'est-à-dire l'absence totale d'un espace spectral, quelque faiblement illuminé qu'il soit;

2° *En ce qui concerne l'apparition du rouge sombre :*

Pendant l'élévation continue de la température pour passer du rouge naissant au rouge sombre, appréciés à la vue, alternant rapidement les

Digitized by Google

observations aux spectroscopes, nous avons reconnu, en répétant les expériences à cinq jours différents, que l'espace spectral est resté obscur pendant 4,5 à 5 minutes. Dès qu'à l'œil nu nous avons jugé l'enceinte du cylindre chauffée au point d'atteindre au *rouge sombre,* nous avons aperçu l'apparition d'un espace spectral *à peine illuminé et indéfinissable sous le rapport de sa coloration.* Lorsqu'il n'y a plus eu de doute sur l'apparition d'un spectre continu, nous avons constaté, *avec certitude,* qu'il était formé à la fois de *rouge,* d'*orangé* et de *jaune,* le jaune allant de 52 à 53 de l'échelle du micromètre du spectroscoque de M. Bunsen.

L'espace de temps compris entre l'apparition de l'illumination ou de la clarté *indéfinissable* et l'apparition d'un spectre continu *définissable,* a varié de 15 à 20 secondes.

Toutes les tentatives que nous avons faites pour amener l'apparition *successive* du *rouge seul,* ensuite du *rouge et de l'orangé,* ont absolument échoué. L'espace spectral est resté ou absolument obscur, ou illuminé d'une manière indéfinissable au point de vue de sa coloration, ou illuminé par un spectre continu, formé *au moins* du rouge, de l'orangé et du jaune : le *rouge* à partir de la moitié seulement de l'espace compris entre A et B, et le *jaune* jusqu'à *l'origine du vert,* 52 à 53 divisions du micromètre du spectroscope de M. Bunsen.

Les résultats ont été les mêmes, soit que nous ayons eu recours au spectroscope Steinheil à un prisme, avec échelle *illuminée* ou *obscure,* soit au spectroscope à vision directe de M. Hilger. Nos observations ne confirment donc pas les faits avancés par W. Draper.

Un spectre continu formé du rouge, de l'orangé et du jaune est donc la caractéristique du *rouge obscur* pour les spectroscopes employés.

3° En ce qui concerne le *rouge vif :*

Le passage du rouge sombre au rouge vif est caractérisé par l'augmentation de l'intensité lumineuse du spectre continu et par l'apparition du vert, dont l'étendue croît graduellement avec l'élévation successive de la température. Lorsque le rouge vif a été jugé atteint, l'espace spectral, assez fortement illuminé, a été limité au rouge près de A et au vert près de E, des raies de Fraunhofer.

Digitized by Google

4° En ce qui concerne le *rouge clair :*

Lors du passage du rouge vif ou rouge clair, nous avons constaté encore une augmentation de l'intensité lumineuse et de l'étendue de l'espace spectral qui est allé de A à G des raies de Fraunhofer.

5° En ce qui concerne le *blanc :*

L'analyse prismatique des radiations émises par un sphéroïde de platine pur amené en pleine fusion, a fourni un spectre continu intensément illuminé, dont l'étendue a été en deçà de A et est allé jusqu'à H et H' des raies de Fraunhofer.

Ainsi qu'il est dit ci-dessus, les observations spectroscopiques qui précèdent ont été exécutées lorsque la fente du collimateur était rétrécie au point de voir, le plus distinctement possible, les raies de Fraunhofer, les spectroscopes étant dirigés vers le ciel blanc. En élargissant la fente des spectroscopes de manière à faire disparaître, à la lumière diffuse blanche, la perception des raies de Fraunhofer, l'analyse prismatique des radiations émises par le cylindre chauffé au rouge *naissant* a fourni *toujours* un espace spectral absolument obscur, et, au rouge *sombre*, un spectre continu dont l'intensité lumineuse et l'étendue ont été augmentées.

Par conséquent, les indications d'intensité lumineuse et des limites des spectres continus sont strictement adéquates au pouvoir absorbant du spectroscope employé et aux conditions de l'ouverture de la fente du collimateur fixée ci-dessus, c'est-à-dire de la visibilité la plus nette possible des raies de Fraunhofer, le spectroscope étant dirigé vers le *ciel blanc.*

VIII. — De la conservation ou de la perte de poids de l'argent pur chauffé dans l'air au repos, du rouge naissant au rouge clair.

Après quelques tâtonnements, l'expérience m'a conduit aux dispositions suivantes pour résoudre le problème posé.

Sans apporter un changement quelconque à l'appareil décrit ci-dessus, j'ai introduit dans le cylindre massif de platine une plaque de porcelaine *dégourdie* de 10 centimètres de longueur et de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, reposant par ses bords vers le milieu du cylindre.

Digitized by Google

La surface supérieure de cette lame de porcelaine était munie d'une série de petits cônes tronqués distants les uns des autres de 5 millimètres environ, destinés à servir de support à l'argent soumis à l'essai. Le sommet des cônes tronqués, qui n'avaient guère que 1 millimètre de diamètre, avait été parfaitement dressé au même niveau et poli afin de ne pas contracter de l'adhérence avec la lame d'argent que ces sommets devaient supporter. Avant de déposer la lame d'argent sur les cônes tronqués de la plaque de porcelaine, celle-ci avait été chauffée longtemps au rouge vif dans le cylindre même, puis lentement refroidie.

Disposant d'une balance permettant la pesée du *gramme* au *millième* du milligramme près, mais dont l'*instabilité relative inhérente à toute balance* réduit l'exactitude de la pesée de *deux* à *trois* millièmes de milligramme [1], j'ai employé aux déterminations une lame très mince d'argent, du poids d'environ 1 gramme. Cette manière de procéder m'a fait gagner beaucoup de temps, tout en donnant toute garantie d'exactitude. Ayant constaté, par des essais préalables, que, sous l'influence d'une chaleur relativement peu élevée, l'argent laminé sans recuit perd de sa rigidité en même temps que de son poli, et se couvre souvent d'un givre blanc et même de stries blanches dans le sens du laminage, j'ai procédé *avant* et *après* l'action de la chaleur à l'inspection microscopique de la lame mince d'argent et à l'essai de sa rigidité en comparant celle-ci à la lame dont un bout avait été détaché pour être soumis à la chauffe.

En agissant ainsi, j'ai constaté les résultats suivants :

I.

Un barreau d'argent de 5 centimètres de longueur, 1 centimètre de largeur et 1 $^1/_2$ centimètre de hauteur, après avoir été chauffé près de son point de fusion et maintenu longtemps à cette température et refroidi à l'air,

[1] Je dirai aux chimistes et aux physiciens qui considéreraient cette sensibilité comme exagérée, que le Bureau international des Poids et Mesures dispose d'une balance en état de peser le gramme à $0^{mgr},001$ près, et qu'à l'Exposition internationale de Paris, en 1878, M. Sacré a exposé une balance qui réalise avec certitude la même exactitude.

Digitized by Google

a été laminé entre des cylindres d'acier polis et huilés constamment jusqu'à *cinq centièmes* environ de millimètre d'épaisseur. Le laminage s'est effectué sans que la lame obtenue ait présenté *la moindre soufflure.*

La lame a été lavée à l'alcool, puis décapée en la laissant séjourner plusieurs heures à froid, dans l'eau bouillie acidulée par 5 °/₀ de son volume d'acide chlorhydrique pur, ensuite dans de l'eau ammoniacale, enfin dans de l'eau pure, séchée à la température ordinaire dans le vide maintenu sec; elle est brillante, rigide; à la température ordinaire elle émet, après plusieurs réflexions, une lumière variant *du jaune orangé au jaune-vert pur*. Au rouge sombre, la couleur de la lumière réfléchie est jaune orangé avec une pointe de rouge. Un bout de la lame, destiné à l'essai, pesait $0^{gr},987.158$.

a. Ce bout, après avoir séjourné pendant vingt minutes dans le cylindre de platine chauffé au *rouge naissant*, pesait $0^{gr}787.160$.

La chaleur a fait perdre à la lame de sa rigidité et de son brillant; elle paraît sensiblement plus blanche.

b. La lame est placée une deuxième fois dans le cylindre de platine et chauffée au rouge naissant; après y avoir séjourné une demi-heure, elle pesait après refroidissement $0^{gr},987.157$.

Quoique ayant perdu encore de son brillant, sa rigidité n'est pas devenue moindre.

c. La lame est remise une troisième fois dans le cylindre dont on élève lentement la température au rouge sombre, et à l'apparition, par l'analyse spectrale, d'un spectre formé exclusivement du rouge, de l'orangé et du jaune.

Après un séjour d'une demi-heure, la lame a été retirée avec son support; après son refroidissement, elle pesait $0^{gr},987.158$.

Elle était devenue absolument blanche, avait perdu complètement sa rigidité, et elle était aussi fortement recuite que si elle avait été chauffée au rouge vif.

d. Elle est introduite une quatrième fois dans le cylindre de platine dont on élève lentement la température jusqu'à ce que son rayonnement produise, à l'analyse spectrale, l'apparition *exclusive* du rouge, de l'orange et du jaune, température qu'à l'aide de soins non interrompus on s'efforce de maintenir aussi constante que possible. Après avoir séjourné dans ces conditions pen-

Digitized by Google

dant 45 minutes dans le cylindre de platine, elle pesait, après refroidissement, $0^{gr},987.160$.

e. Le lendemain, la lame a été remise une cinquième fois dans le cylindre dont on avait élevé assez rapidement la température jusqu'à l'apparition d'un espace spectral formé exclusivement du rouge, de l'orangé et du jaune. Après un séjour de 35 minutes et son refroidissement complet, son poids était de $0^{gr},987.154$.

Après ces chauffes successives, la lame était couverte par des stries, *dans le sens du laminage,* d'un givre d'un blanc éblouissant.

f. La lame est remise une sixième fois dans le cylindre dont on élève la température jusqu'à ce que l'analyse prismatique des radiations de l'enceinte permette d'apercevoir d'une manière *certaine* et *permanente* le COMMENCEMENT du *vert;* après avoir maintenu cette température pendant 20 minutes, la lame refroidie pesait $0^{gr},987.042$.

g. La lame est remise une septième fois dans le cylindre dont on avait porté la température assez haut pour que l'analyse prismatique des radiations de l'enceinte permît d'apercevoir au spectre continu dont le vert livide cesse d'être visible à la *position* occupée par la *première raie verte du spectre des raies électriques de l'air sec dont la tension est réduite à 2 centimètres.*

La lame, après avoir séjourné 30 minutes dans le cylindre, pesait, après son refroidissement complet, $8^{gr},984.335$. Elle avait donc perdu $0^{gr},002.707$ de son poids, soit $0^{gr},001.000$ par 10 minutes de chauffe.

II.

Un barreau d'argent de 4 centimètres de longueur sur 1 $^1/_2$ centimètre de hauteur et de largeur, chauffé successivement au dard aérhydrique près de son point de fusion et au rouge sombre *dans une atmosphère d'hydrogène,* fut laminé sans recuit, entre des cylindres d'acier polis et huilés, jusqu'à ce que la lame obtenue eût $0^{mm},05$ environ d'épaisseur. Cette lame fut lavée à l'alcool, décapée à froid à l'eau bouillie, acidulée par 5 % de son volume d'acide chlorhydrique liquide, traitée par l'eau ammoniacale et lavée ensuite à l'eau pure.

Digitized by Google

La lame était rigide, blanche et brillante; à la température ordinaire elle émettait, par plusieurs réflexions, une lumière variant du jaune orangé au jaune vert pur. Le poids d'un bout détaché était de $0^{gr},992.426$.

a. Ce bout fut introduit dans le cylindre de platine chauffé au rouge sombre et maintenu aussi exactement que possible à cette température pendant huit heures. Le lendemain son poids était de $0^{gr},992.419$. La lame avait éprouvé un recuit complet et était devenue d'un blanc mat éblouissant.

b. Elle fut replacée dans le cylindre de platine, dont l'enceinte avait été chauffée de manière à émettre des radiations qui, à l'analyse prismatique, permettaient d'apercevoir un spectre continu, dont le vert livide était visible jusqu'à la position occupée par la première raie verte des raies électriques atmosphériques. Après un séjour de 15 minutes dans le cylindre, la lame refroidie pesait $0^{gr},991.024$; elle avait donc perdu $0^{gr},001.395$, c'est-à-dire $0^{gr},001$ de son poids par 10 minutes de chauffe.

Il résulte avec certitude des recherches qui précèdent que : 1°, du *rouge naissant au rouge sombre*, l'argent se recuit complètement dans l'air en perdant son brillant pour devenir d'un blanc mat éblouissant et en *conservant son poids;* 2°, au delà du rouge sombre, ce métal éprouve DANS L'AIR *une perte continue.*

Le rouge sombre et l'absence complète du vert dans le spectre continu, observé par l'analyse prismatique (effectuée à l'aide des spectroscopes utilisés), les radiations émises par l'argent, sont donc les conditions-limites de température pour la conservation du poids de ce métal, soumis à l'action de la chaleur *dans l'air au repos.*

IX. — Des dispositions prises pour la recherche des changements de poids éprouvés par l'argent chauffé successivement dans l'hydrogène et dans l'air.

L'appareil à dégagement d'hydrogène se composait :

a. Du générateur à hydrogène de M. Debray. On sait qu'il consiste en deux grands flacons, placés au même niveau, munis chacun d'une tubulure inférieure, mise en rapport à l'aide d'un large et épais tube de caoutchouc désulfuré. Afin d'éviter le suintement observé souvent lorsque le tube de

Digitized by Google

caoutchouc est appliqué directement sur les tubulures, un bouchon de verre, terminé extérieurement par un tube à étranglements, était rodé et fixé solidement sur les tubulures. Le tube de caoutchouc était adapté à son tour solidement par ses deux bouts sur les tubes à étranglements. Grâce à cette disposition, l'appareil a pu fonctionner d'une manière presque continue pendant au delà de six semaines sans produire le moindre suintement.

L'un des grands flacons était rempli de zinc en grenailles épaisses. L'autre contenait une solution très diluée de sulfate de cuivre, faiblement acidulée à l'acide sulfurique pur. Le zinc se couvre ainsi de cuivre; il décompose l'acide sulfurique sans produire de l'acide sulfureux ou de l'acide sulfhydrique, si l'on a soin de maintenir le flacon à zinc à basse température.

La tubulure supérieure du flacon à zinc était munie d'un bouchon de caoutchouc désulfuré, traversé par un tube à robinet. On réglait l'ouverture de ce robinet suivant le volume d'hydrogène à produire et à laisser passer par tout le système d'appareil pendant l'unité de temps.

Le zinc employé provenait de *calamines* de la Vieille-Montagne. Je n'y ai point trouvé de l'arsenic. Pour le priver complètement de carbone et de toute substance susceptible de prendre avec l'hydrogène la forme gazeuse, on l'avait distillé une seconde fois avec de l'oxyde de zinc fortement calciné, et les vapeurs métalliques avaient été condensées dans des récipients en argile réfractaire.

b. Le tube à robinet, traversant le bouchon de caoutchouc fixé sur la tubulure supérieure du flacon à zinc, était mis en rapport avec un grand flacon tubulé rempli entièrement de pierre-ponce concassée, imbibée d'une solution saturée d'hydroxyde de potassium. Ce flacon était suivi d'un second, également tubulé, contenant de la pierre-ponce concassée, imbibée d'une solution saturée de sulfate de cuivre. L'hydrogène, en passant successivement au travers des milieux alcalin et cuivrique, se dépouillait de vapeurs acides ou de gaz sulfurés qu'il pouvait accidentellement entrainer. A sa sortie du flacon à sulfate de cuivre, l'hydrogène traversait un tube en verre infusible de 120 centimètres de longueur, contenant dans sa première moitié une colonne de 45 centimètres de longueur de tournures de cuivre, et dans sa seconde moitié une colonne de 45 centimètres de longueur de tournure

Digitized by Google

d'argent. Le tube, reposant dans une gaine de tôle de 90 centimètres de longueur, contenait de la magnésie. La gaine était chauffée *au rouge sombre* sur toute sa longueur pendant le passage de l'hydrogène. Si le zinc renferme seulement des traces d'arsenic, le commencement de la colonne de tournures de cuivre fixe cet arsenic, et le métal se colore en gris d'acier par la formation d'arséniure de cuivre; si l'hydrogène contient soit de l'acide sulfhydrique, soit de l'acide sulfureux, la surface de la tournure de cuivre se colore en noir. Le zinc employé était si parfaitement privé d'arsenic que j'ai pu dissoudre près de 4 kilogrammes de ce métal sans blanchir la tournure de cuivre chauffée au rouge, et ayant maintenu constamment le flacon à zinc entre 15° et 20°, je n'ai pas observé trace de sulfuration du cuivre. Le rôle du tube à tournures métalliques a été borné à la transformation en eau de l'oxygène entraîné par l'hydrogène.

J'ai fait passer l'hydrogène sur une colonne de tournure d'argent, pour avoir la certitude que l'argent soumis au rouge dans une atmosphère de ce gaz n'éprouverait aucune altération par suite de ses impuretés accidentelles. Aussi, grâce aux précautions prises, je n'ai pu constater, dans aucun essai, la moindre altération de la surface du métal soumis à l'expérience. Le tube à cuivre et à argent était muni d'un robinet destiné à intercepter la communication entre le générateur de l'hydrogène et le système de dessiccation de ce gaz.

c. L'hydrogène, à sa sortie du tube à cuivre et à argent, étant saturé d'humidité, a été desséché en le faisant passer successivement sur du chlorure de calcium poreux et concassé, contenu dans une longue et large éprouvette à pied; il traversait ensuite deux tubes en U, dont les branches avaient 35 centimètres de longueur, et remplis, le premier, de chlorure de calcium fondu et concassé, et le second, d'hydroxyde de potassium fondu et concassé en très menus fragments. Au tube à hydroxyde potassique était adapté un tube en U moitié moins long, rempli d'amiante feutré, récemment rougi, destiné à retenir les poussières pouvant être entraînées par le courant.

La branche libre du tube à amiante était munie d'un robinet pour établir ou arrêter à volonté le courant, lorsque tout le système était rempli d'hydrogène purifié et séché.

Telles étaient les dispositions de l'appareil fournissant l'hydrogène.

Digitized by Google

d. Pour exposer, à chaud, l'argent dans un courant lent d'hydrogène, je me suis servi d'un tube de porcelaine vernie *intérieurement* et *extérieurement*, de 5 $^1/_2$ centimètres de diamètre intérieur et de 60 centimètres de longueur. Le tube de porcelaine avait été fabriqué expressément pour pouvoir tenir le vide, étant chauffé au rouge vif. Dans une des notices suivantes, je m'expliquerai plus au long sur la fabrication, les qualités et les défauts des tubes de porcelaine.

Le tube était engagé dans un fourneau longitudinal à *moufle tubulaire aplati;* les diamètres du moufle étaient respectivement 8 centimètres en largeur et 6 centimètres en hauteur, de manière à laisser latéralement, entre le moufle et le tube de porcelaine, un espace libre pour l'observation de la température soit à l'œil nu, soit au spectroscope. Ce fourneau était chauffé à l'aide d'une grille à gaz de l'éclairage à becs aplatis, disposée au bas, vers le milieu du fourneau, permettant d'élever et de maintenir constante la température du moufle tubulaire du *rouge naissant au rouge sombre et ensuite jusqu'au point de fusion de l'argent.*

L'argent était contenu dans une nacelle.

J'ai dû renoncer à l'emploi de nacelles d'argent, à cause de la propriété que possède ce métal de se souder déjà au rouge *naissant* à l'argent qui y est placé.

J'ai eu donc recours à une nacelle mince de porcelaine de Berlin vernie (sauf le *fond extérieur*), de *16 centimètres* de longueur sur 4 $^1/_2$ centimètres de largeur et de hauteur.

Pour éviter l'adhérence de la nacelle au vernis du tube en porcelaine, j'ai introduit dans ce tube une longue et large feuille de platine le tapissant presque complètement.

Les chimistes se font généralement de singulières illusions sur la constance de poids des nacelles de porcelaine vernie portées à température élevée. J'ai reconnu avec certitude que ces nacelles ne présentent un poids à peu près constant qu'étant employées à une température beaucoup inférieure à celle à laquelle elles ont été élevées pour amener leurs vernis à ne plus rien céder des alcalis qui entrent dans leur composition. Et encore, après avoir perdu ainsi de 7 à 9 milligrammes de leur poids, la constance de leur masse est renfermée dans une limite de $\pm$ $0^{mgr},25$. Le doute n'est pas pos-

Digitized by Google

sible à ce sujet. Pour ce motif, la nacelle de porcelaine, avant d'être pesée pour recevoir l'argent, avait été maintenue, au *rouge vif*, pendant toute une journée dans un léger courant d'hydrogène.

Du reste, après avoir exposé l'argent au courant d'hydrogène et l'avoir ensuite chauffé au *rouge sombre* pour chasser l'hydrogène retenu en remplacement des gaz éliminés, j'ai eu soin de vérifier le poids de la nacelle, l'argent en ayant été retiré et, au besoin, la nacelle traitée à froid, à l'acide azotique dilué pour enlever les traces d'argent resté adhérent au vernis.

Avant de déterminer le poids de l'argent introduit dans la nacelle, j'ai porté le tout dans le moufle décrit ci-dessus, dont les fentes étaient bouchées, entièrement garni de feuilles de platine du fourneau à gaz de Wiesnegg.

Le moufle était chauffé au rouge sombre, et j'y ai maintenu le tout, pendant un quart d'heure *au moins*, le moufle étant fermé, condition dans laquelle l'argent pur, qui a été préalablement chauffé au *rouge vif,* conserve son poids, ainsi que je l'ai établi ci-dessus.

Lorsque le moufle a été convenablement refroidi, que la nacelle avec l'argent en a été retirée et abandonnée au refroidissement complet *dans l'air sec*, on a déterminé ensuite le poids total, dont on a déduit le poids initial de la nacelle. On a glissé la nacelle au milieu du tube en porcelaine, *préalablement rempli d'air sec*, et disposé dans le moufle tubulaire. On a adapté, avec des ligatures solides, en fil de cuivre laminé, à chacun des bouts du tube qui sortaient de 20 centimètres du fourneau, une calotte pyriforme de caoutchouc *naturel*, parfaitement séchée dans le vide. Chaque calotte contenait *un flacon de verre* dont le fond était enlevé. Chacun de ces flacons pénétrait de 2 centimètres dans le tube; ils étaient destinés à soustraire le caoutchouc au rayonnement de l'intérieur du tube de porcelaine.

Après avoir fait pénétrer le tube du robinet qui termine l'appareil à hydrogène dans la partie tubulaire de la calotte de caoutchouc adaptée à l'extrémité du tube de porcelaine, on a couvert cette partie tubulaire d'une solide ligature en fil de cuivre rouge laminé.

A l'aide d'un tube courbé à *angle droit*, on a mis ensuite en rapport la partie tubulaire de la calotte de caoutchouc appliquée sur l'extrémité droite du tube de porcelaine avec un tube en U dont les branches avaient 35 cen-

Digitized by Google

timètres de hauteur sur 2 centimètres de diamètre, contenant dans la première branche du chlorure de calcium fondu et concassé, et dans la seconde, de l'hydroxyde de potassium fondu, concassé en très menus fragments, séparé à l'aide d'une spire en fil de platine, du chlorure calcique, et surmonté d'un tampon d'asbeste feutré et rougi. A 4 centimètres de l'ouverture de chaque branche du tube à condensation de l'eau, était soudé un petit tube ouvert de 5 centimètres de longueur sur 3 millimètres de diamètre intérieur, et sur l'ouverture de chaque branche était soigneusement rodé à l'émeri un bouchon creux de verre, ouvert par le bas et troué latéralement à la hauteur de petit tube soudé à la branche. Pendant la pesée du système, l'ouverture de l'un des bouchons restait en communication avec l'ouverture d'un des petits tubes, afin d'établir l'équilibre entre la pression interne et la pression externe; après la pesée, ce bouchon était tourné pour intercepter l'accès de l'air extérieur et l'augmentation de poids du système, lorsqu'il n'était pas adapté à l'appareil à hydrogène, ou, y étant adapté, celui-ci ne fonctionnait pas. L'expérience m'a démontré qu'à l'aide de cette disposition, *du reste parfaitement connue*, on se met efficacement à l'abri de l'humidité atmosphérique, et on garantit *dans la limite des erreurs inévitables des observations*, l'exactitude du résultat.

Enfin le tube destiné à fixer l'eau était mis en communication avec un appareil à boules de Liebig, contenant de l'acide sulfurique. En terminant tout le système par un tube de Liebig renfermant de l'acide sulfurique, j'avais pour but de préserver le tube à condensation de l'eau de l'humidité de l'air et de me renseigner en même temps du fonctionnement de tout l'appareil et de la rapidité relative du courant d'hydrogène. Lorsque, par suite du passage d'une quantité suffisante d'hydrogène, l'air atmosphérique sec, contenu dans le tube de porcelaine, était complètement éliminé, la clé du robinet passant par le bouchon de caoutchouc adapté sur la tubulure supérieure du flacon à zinc, a été fixée de manière à laisser passer *bulle à bulle* l'hydrogène au travers de l'acide sulfurique contenu dans l'appareil de Liebig. En recueillant l'hydrogène, j'ai constaté que dans ce cas il passe *un litre* d'hydrogène en 25 à 30 minutes par l'appareil, ce qui est un volume amplement suffisant pour renouveler l'atmosphère gazeuse enveloppant l'argent.

Digitized by Google

Afin de maintenir *à la température ordinaire* les calottes de caoutchouc et la moitié environ des extrémités du tube en porcelaine engagé dans le moufle tubulaire, on les a entourées d'une *spire creuse,* très flexible, de plomb, par laquelle un courant d'eau froide passait pendant que 18 centimètres, sur une longueur totale de 60 centimètres, étaient chauffés au rouge sombre. J'ai emprunté ce moyen de réfrigération à Henri Sainte-Claire-Deville et Debray.

M. Rommelaere et moi nous avons jugé de la température à laquelle était porté le tube de porcelaine en observant, alternativement à l'œil nu et au spectroscope, l'espace laissé libre entre le moufle tubulaire aplati et le tube, en nous conformant strictement aux conditions consignées ci-dessus. A cet effet, le collimateur des spectroscopes était disposé le plus près possible devant l'espace laissé libre entre le moufle tubulaire aplati et le tube de porcelaine. La vaste salle dans laquelle tout l'appareil était monté sous une hotte en communication avec une cheminée d'appel, était transformée en chambre obscure, afin de pouvoir régler la température. Malgré le robinet à clé à cadran, le règlement de celle-ci a exigé des soins continus, tant que le fourneau à moufle tubulaire n'a pas été porté à un degré de chaleur constant; ce qui ne s'est réalisé qu'après deux à deux heures et demie de chauffe, lorsque nous sommes parvenus à établir l'équilibre entre la chaleur reçue par la flamme entourant le moufle et la chaleur perdue par le rayonnement du fourneau tubulaire.

La nacelle et l'argent qui avaient été exposés au courant d'hydrogène sec, entre le rouge naissant et le rouge sombre, après avoir été refroidis et pesés, ont été introduits dans le moufle garni de platine du fourneau de Wiesnegg et placés sur les chevalets ayant servi de support au cylindre-tube, lors de la détermination des conditions dans lesquelles l'argent conserve son poids ou subit une perte de poids.

L'introduction de la nacelle avec l'argent dans le moufle étant faite, celui-ci a été fermé à l'aide de la plaque de terre réfractaire munie des dispositifs décrits dans la notice n° VII.

Après avoir amené devant la plaque fermant le moufle le trépied portant les spectroscopes, on a allumé la grille à gaz établie sous le fourneau et l'on a chauffé, *le plus lentement possible,* le moufle entre le rouge naissant et le

Digitized by Google

rouge sombre. Ce degré de chaleur étant atteint, on a maintenu cette température constante pendant *quinze* à *vingt minutes,* des essais préliminaires ayant prouvé qu'un séjour plus prolongé était sans effet sur l'augmentation de poids de l'argent.

Lorsque la nacelle avec l'argent était soit dans le tube de porcelaine glissé dans le moufle tubulaire, soit dans le moufle du fourneau de Wiesnegg, le danger à craindre était évidemment une élévation de température dépassant le rouge sombre. *Pour ce motif, tous nos efforts ont consisté à maintenir la chaleur* ENTRE *le rouge naissant et le rouge sombre, c'est-à-dire à l'état où, au spectroscope, on aperçoit un espace spectral à peine éclairé et indéfinissable au point de vue de sa coloration.*

On le conçoit, les difficultés pour l'exécution de ces expériences, qui semblent simples, ont été fort grandes, et ce n'est qu'après avoir perdu beaucoup de temps à des essais préliminaires que nous sommes parvenus à réaliser les conditions voulues.

Quoi qu'il en soit de ces difficultés, en se conformant aux dispositions indiquées ci-dessus on a constaté les résultats ci-après désignés :

X. — Des résultats obtenus.

I.

1° Poids de la nacelle portée d'abord, pendant six heures, au rouge vif, dans le moufle garni de platine, et ensuite chauffée, pendant huit heures, au rouge sombre, dans le tube de porcelaine placé dans le moufle tubulaire, au sein d'une atmosphère d'hydrogène renouvelée et refroidie dans l'air sec [1].	gr. 39,238.45
2° Poids de la nacelle et de l'argent en *grenailles brillantes non rochées* [2], chauffés au rouge *sombre* dans le moufle tapissé de platine et refroidi à l'air sec.	144,155.20

[1] Toutes les pesées inscrites dans cette notice ont été effectuées avec une balance moyenne construite par M. Sacré. Les pesées sont exactes à ± 0gr,000.05, soit à 0gr,000.1 maximum d'incertitude.

[2] L'argent avait été traité à l'hydrate de sodium, puis chauffé au dard aérhydrique jusqu'à disparition complète du spectre sodique. (Voir, pour le traitement, pp. 6 et suiv.)

Digitized by Google

	gr.
3° Poids de l'argent employé.	104,916.75
4° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans l'hydrogène sec et refroidis dans cette atmosphère . . .	144,152.30
5° Poids de l'argent	104,913.85
6° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant une heure, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans un moufle garni de platine et refroidis dans l'air sec. . . .	144,153.50
7° Poids de l'argent	104,915.00
8° Poids de la nacelle, après en avoir retiré l'argent devenu d'un blanc éblouissant [1].	39,238.20
9° Poids de l'argent	104,915.30
10° Poids du tube à condensation de l'eau :	
a. Avant le passage de l'hydrogène	156,327.50
b. Après le passage de l'hydrogène et l'élimination de ce gaz par l'air sec [2].	156,330.25
11. Poids de l'eau condensée	0,002.75

II.

1° Poids de la nacelle.	39,238.20
2° Poids de la nacelle et de l'argent *en grains*, d'un blanc mat, non rochés [3], chauffés au rouge sombre dans le moufle garni de platine et refroidis à l'air sec	200,591.50
3° Poids de l'argent	161,353.30

[1] Voir aux notices suivantes pour le poids spécifique et le titre de la grenaille d'argent, *avant* et *après* avoir été soumise successivement à l'action de l'hydrogène et de l'air, au rouge sombre.

[2] *Dans toutes les expériences* inscrites dans cette notice, l'atmosphère d'hydrogène du tube à condensation de l'eau a été remplacée par de l'air séché au même degré que l'hydrogène qui l'avait traversé. La pesée du tube a été faite après ce remplacement.

[3] Les grains d'argent étaient une partie du métal qui a servi aux synthèses des bromures, de l'iodure et de l'azotate d'argent. (Voir page 275 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, etc.)

Digitized by Google

4° Poids de la nacelle et de l'argent après avoir été chauffés pendant neuf heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans une atmosphère d'hydrogène sèche et refroidis ensuite dans ce gaz.	gr. 200,586.60
5° Poids de l'argent	161,348.40
6° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés à nouveau pendant une demi-heure, au rouge sombre, dans le moufle garni de platine et refroidis ensuite à l'air sec.	200,588.90
7° Poids de la nacelle de porcelaine après en avoir retiré l'argent.	39,237.00
8° Poids de l'argent	161,351.10
9° Poids du tube à condensation de l'eau :	
a. Avant le passage de l'hydrogène.	156,330.25
b. Après le passage de l'hydrogène	156,334.10
10° Poids de l'eau condensée.	0,003.85

III.

1° Poids de la nacelle.	39,237.80
2° Poids de la nacelle et de l'argent, en *lames* minces [1], chauffés au rouge sombre dans un moufle garni de platine et refroidis ensuite dans de lair sec.	126,861.70
3° Poids des lames.	87,623.90
4° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés entre le rouge naissant et le rouge sombre, pendant huit heures, dans une atmosphère d'hydrogène et refroidis ensuite dans de l'air sec.	126,860.30
5° Poids des lames	87,622.50
6° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés au rouge sombre, pendant une heure, dans un moufle garni de platine et refroidis ensuite à l'air sec	126,861.10

[1] Les lames d'argent provenaient de barreaux laminés entre des lattes d'argent pur, au grand laminoir de l'Hôtel des Monnaies. Les lames constituaient une partie de la matière qui m'a servi, en 1858, aux synthèses du chlorure et du sulfure d'argent.

Digitized by Google

		gr.
7°	Poids de la nacelle après en avoir retiré l'argent . .	39,237.40
8°	Poids des lames	87,623.70
9°	Poids du tube à condensation de l'eau :	
	a. Avant le passage de l'hydrogène	156,339.00
	b. Après le passage de l'hydrogène	156,342.00
10°	Poids de l'eau condensée	0,003.00

IV.

1°	Poids de la nacelle.	39,237.40
2°	Poids de la nacelle et de l'argent en *petits blocs* [1] d'un blanc mat, chauffés au rouge sombre dans un moufle garni de platine et refroidis ensuite dans l'air sec	135,696.40
3°	Poids de l'argent	96,459.00
4°	Poids de la nacelle et de l'argent chauffés entre le rouge naissant et le rouge sombre, pendant neuf heures, dans une atmosphère d'hydrogène sec et refroidis ensuite dans ce gaz.	135,694.80
5°	Poids de l'argent	96,457.40
6°	Poids de la nacelle et de l'argent chauffés, pendant une heure, au rouge sombre dans le moufle garni de platine et refroidis ensuite à l'air sec	135,695.70
7°	Poids de la nacelle après en avoir retiré l'argent . .	39,237.50
8°	Poids de l'argent	96,458.20
9°	Poids du tube à condensation de l'eau :	
	a. Avant le passage de l'hydrogène	156,333.50
	b. Après le passage de l'hydrogène	156,336.00
10°	Poids de l'eau condensée	0,002.50

[1] Les blocs d'argent provenaient d'une partie des barreaux qui avaient fourni les lames d'argent employées pour la synthèse du chlorure et du sulfure de ce métal. Les blocs avaient été chauffés longtemps près de leur point de fusion.

Digitized by Google

V.

1° Poids de la nacelle chauffée préalablement au *rouge vif,* pendant *six heures,* dans le moufle garni de platine et refroidie à l'air sec	gr. 44,218.30
2° Poids de la nacelle et de l'argent en petits blocs [1] d'un blanc mat, chauffés pendant quinze minutes, au rouge sombre, dans un moufle garni de platine et refroidis ensuite à l'air sec.	250,144.30
3° Poids de l'argent	205,926.00
4° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans une atmosphère d'hydrogène et refroidis ensuite dans ce gaz.	250,141.90
5° Poids de l'argent	205,923.60
6° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant une heure, au rouge sombre, dans un moufle garni de platine et refroidis ensuite à l'air sec	250,142.20
7° Poids de la nacelle après en avoir retiré l'argent . .	44,217.90
8° Poids de l'argent	205,924.30
9° Poids du tube à condensation de l'eau :	
a. Avant le passage de l'hydrogène	156,342.50
b. Après le passage de l'hydrogène	156,344.60
10° Poids de l'eau condensée	0,002.10

VI.

1° Poids de la nacelle.	44,217.90

[1] Les petits blocs avaient été débités, au ciseau d'acier trempé, d'une latte de 4 centimètres de longueur sur 1 $^1/_2$ centimètre de hauteur, et décapés ensuite à l'acide chlorhydrique. Le métal, *avant* d'être coulé dans une lingotière, avait été affiné au gaz oxhydrique, puis lentement refroidi, près de son point de solidification, *dans ce gaz rendu réducteur.* L'argent est le même que celui qui a fourni les grains employés à l'expérience II. La surface des petits blocs avait été amenée en partie en fusion pour s'assurer de la présence ou de l'absence de petites bulles. *Tous les blocs trouvés bulleux avaient été écartés.*

Digitized by Google

2° Poids de la nacelle et de trois barreaux d'argent [1] chauffés pendant quinze minutes, au rouge sombre, dans le moufle garni de platine et refroidis dans l'air sec. . . .	gr. 150,815.90
3° Poids de l'argent	106,598.00
4° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant dix heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans une atmosphère d'hydrogène et refroidis dans ce gaz	150,815.20
5° Poids de l'argent	106,597.30
6° Poids de la nacelle et des barreaux d'argent chauffés pendant une heure, au rouge sombre, dans le moufle garni de platine et refroidis à l'air sec.	150,815.70
7° Poids de la nacelle après en avoir retiré l'argent et refroidie à l'air sec	44,217.70
8° Poids de l'argent	106,598.00
9° Poids du tube à condensation de l'eau :	
a. Avant le passage de l'hydrogène	156,346.20
b. Après le passage de l'hydrogène	156,348.50
10° Poids de l'eau	0,002.30

VII.

1° Poids de la nacelle.	44,217.70
2° Poids de la nacelle et de *quatre petits barreaux* d'argent [2] chauffés au rouge sombre, dans le moufle garni de platine, et refroidis ensuite à l'air sec	199,684.80

[1] Les trois barreaux avaient été détachés au ciseau d'acier de la latte dont on avait enlevé les blocs employés pour l'expérience n° V. Les barreaux avaient été chauffés à leur point de fusion; l'un d'eux présentait une caverne qui s'était ouverte lors de l'essai au chalumeau aérhydrique. Les deux autres contenaient des bulles d'une petitesse extrême.

[2] Les petits barreaux provenaient d'une coulée d'argent préparé par l'action d'une solution de sucre de lait et d'hydrate de potassium sur le chlorure d'argent. Le métal avait été fondu avec 5 % de son poids de borate de sodium desséché, contenant 10 % d'azotate de sodium, et coulé ensuite dans une lingotière. Les barreaux avaient été chauffés au chalumeau aérhydrique, au point de fusion de leurs surfaces; l'un d'eux était *très légèrement* bulleux.

Digitized by Google

	gr.
3° Poids de l'argent	155,467.10
4° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés entre le rouge naissant et le rouge sombre, pendant dix heures, dans une atmosphère d'hydrogène et refroidis dans ce gaz . .	199,682.90
5° Poids de l'argent	155,465.20
6° Poids de la nacelle et de l'argent chauffés au rouge sombre, pendant une heure, dans le moufle garni de platine et refroidis dans l'air sec	199,683.60
7° Poids de la nacelle, l'argent en ayant été retiré . .	44,218.00
8° Poids de l'argent	155,465.60
9° Poids du tube à condensation de l'eau :	
a. Avant le passage de l'hydrogène	156,349.00
b. Après le passage de l'hydrogène	156,350.50
10. Poids de l'eau	0,001.50

VIII.

1° Poids de la nacelle chauffée pendant six heures, au rouge vif, dans le moufle garni de platine et refroidie dans l'air sec.	41,821.50
2° Poids de la nacelle et de trois culots d'argent [1] chauffés au rouge sombre, dans le moufle garni de platine, et refroidis dans l'air sec	162,138.20
3° Poids de l'argent	121,316.70
4° Poids de la nacelle et des trois culots d'argent chauffés pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans une atmosphère d'hydrogène renouvelée et refroidis dans ce gaz	162,135.90
5° Poids de l'argent	121,314.40

[1] Les trois culots provenaient de la fonte au chalumeau aérhydrique de l'argent pulvérulent obtenu à l'aide de la réduction du chlorure par une solution alcaline de saccharose. (Voir à la p. 13 et au 3° de la p. 28.)

Digitized by Google

6° Poids de la nacelle et des trois culots chauffés pendant une heure, au rouge sombre, dans le moufle garni de platine et refroidis ensuite à l'air sec	gr. 162,137.70
7° Poids de la nacelle, l'argent en ayant été retiré. . .	41,821.80
8° Poids des trois culots	121,315.90
9° Poids du tube à condensation de l'eau :	
a. Avant le passage de l'hydrogène	156,350.50
b. Après le passage de l'hydrogène	156,353.40
10° Poids de l'eau condensée	0,002.90

IX.

1° Poids de la nacelle.	41,821.80
2° Poids de la nacelle et de l'argent, en tournures fines *comprimées*[1], chauffés au rouge sombre, pendant une demi-heure, dans le moufle garni de platine et refroidis à l'air sec.	177,124.70
3° Poids de l'argent	135,302.90
4° Poids de la nacelle et des tournures chauffées entre le rouge naissant et le rouge sombre, pendant huit heures, dans une atmosphère d'hydrogène renouvelée et refroidies ensuite à l'air sec	177,121.90
5° Poids des tournures	135,300.10
6° Poids de la nacelle et des tournures chauffées à nouveau entre le rouge naissant et le rouge sombre, pendant six heures, dans une atmosphère renouvelée d'hydrogène et refroidies ensuite dans l'hydrogène	177,122.30
7° Poids de l'argent	135,300.50
8° Poids de la nacelle et des tournures chauffées au rouge sombre, pendant une demi-heure, dans le moufle garni de platine et refroidies ensuite à l'air sec	177,124.20

[1] Les tournures ont été fournies par le culot tronconique d'argent du poids de 870 gr., dont la préparation et le traitement ont été décrits pp. 53 et suivantes. Les tournures, après décapage, avaient été chauffées au rouge vif et enfin comprimées entre les lames d'argent pur, pour permettre l'introduction d'un poids suffisant de métal dans la nacelle.

Digitized by Google

9° Poids de l'argent 135,302.40

10° Poids de la nacelle et des tournures chauffées *au rouge vif*, pendant une demi-heure, dans une atmosphère d'hydrogène renouvelée et refroidies ensuite dans le courant. . . 177,098.50

11° Poids de la nacelle, les tournures en ayant été enlevées [1] 41,821.80

12° Poids de l'argent. 135,276.70

13° Poids du tube à condensation de l'eau :

a. Avant le passage de l'hydrogène 156,354.20

b. Après le passage de l'hydrogène 156,356.30

14° Poids de l'eau condensée. 0,002.10

Le tableau suivant résume les faits consignés ci-dessus :

Nos d'ordre.	ÉTAT DE L'ARGENT. — A Métal *ancien*. N Métal *nouveau*.	Poids de l'argent *avant* l'action de l'hydrogène.	Poids de l'argent *après* l'action de l'hydrogène.	Diminution de poids par l'action de l'hydrogène.	Diminution de poids en centmillio-nièmes.	Poids de l'argent soumis successivement à l'action de l'hydrogène et de l'air au rouge sombre.	Augmentation de poids par l'action de l'air au rouge sombre.	Augmentation de poids en centmillio-nièmes.	Poids de l'eau produite par l'action de l'hydrogène.
I	N Grenailles. .	gr. 104,916.75	gr. 104,913.85	gr. 0,002 90	276	gr. 104,915.00	gr. 0,001.15	109	gr. 0,002.75
II. . . .	A Grains. . . .	161,353.30	161,348 40	0,004.90	304	161,351.10	0,002.70	167	0,003.85
III . . .	A Lames. . . .	87,623.90	87,622.50	0,001.40	159	87,623.70	0,001.20	137	0,003 00
IV . . .	A Petits blocs.	96,459.00	96,457 00	0,001.60	165	96,458.20	0,001.20	125	0,(02.50
V. . . .	A Petits blocs.	205,926.00	205,923.60	0,002.40	116	205,924.30	0,000.70	34	0,002.10
VI. . . .	A Barreaux . .	106,598.00	106,597.30	0,000.70	65	106,598.00	0,000.70	65	0.002.30
VII . . .	N Barreaux . .	155,467.10	155,465.20	0,001,90	123	155,465.60	0,000.40	28	0,001.50
VIII. . .	N Culots. . . .	121,316.70	121,314.40	0,001,90	157	121,315.90	0.001 50	123	0,002.90
IX . . .	N Tournures .	135,302.90	135,300.10	0,002.80	207	135,302.40	0,002 30	170	0,001,90
	SOMMES. . .	1174,963.65	1174,942.75	0,020.90	0,000.017.78	1174,954.20	0,011.85	0,000.010.09	0,022.80

[1] Poids initial de la nacelle. Par suite de la forte élévation de la température, les tournures avaient pénétré dans le vernis et y étaient tellement adhérentes, qu'en arrachant l'argent la partie soudée au vernis y est restée et la nacelle a été perdue.

Digitized by Google

Des *neuf* échantillons d'argent employés, *sept* étaient sous des *états différents*. Parmi ces échantillons *cinq* constituaient des restants du métal dans l'état sous lequel il a servi à mes *anciens* travaux, et *quatre* se rapportaient à l'argent *nouveau*, obtenu lors de mes recherches de revision, mais dans *les mêmes conditions de* FONTE que le métal ancien, ainsi que je l'expose plus loin.

Le poids total de l'argent, soumis au rouge sombre, à l'action de l'hydrogène, s'élève à 1174^{gr},963.65; soit un poids moyen par essai de 130 grammes. Le minimum a été de 87^{gr},623.90, et le maximum de 205^{gr},926.00. Le poids de métal mis en œuvre a été limité, pour l'argent ancien, par la quantité restée en ma possession *sous l'état donné*, et, pour le métal nouveau, par la capacité de la nacelle devant contenir l'argent.

Sous l'influence de l'hydrogène, les 1174^{gr},963.65 ont été réduits à 1174^{gr},942.75; ils ont perdu $\frac{2090}{117,496,365}$ de leur poids, soit, en nombres ronds, $\frac{1}{50,000}$. Le maximum de la perte s'est élevé à $\frac{30}{1,000,000}$, soit $\frac{1}{33,000}$, et le minimum de la perte à $\frac{60}{10,000,000}$, soit $\frac{1}{145,000}$.

Les 1174^{gr},942.75 d'argent soumis à l'hydrogène, chauffés ensuite à la même température dans l'air, sont devenus 1174^{gr},954.20; il y a donc eu une augmentation de poids s'élevant à $\frac{1185}{1147,942\ 57}$, soit $\frac{1009}{100,000,000}$, représentant la moitié environ de la perte de poids que l'hydrogène avait fait éprouver au métal mis en expérience; le maximum de l'augmentation a été $\frac{167}{100,000,000}$ et le minimum $\frac{65}{100,000,000}$.

En admettant que la perte de $\frac{2090}{100,000,000}$ représentât de l'oxygène enlevé, j'aurais dû recueillir une somme de 0^{gr},023.50 d'eau; l'expérience m'en a donné 0^{gr},022.80.

Il résulte de ce qui précède, que l'argent employé par moi pour l'exécution de mes travaux sur les poids atomiques, et que le métal reproduit dans des *conditions identiques de fonte*, contiennent, *dans les mêmes limites étroites*, des gaz parmi lesquels se trouve l'oxygène, au rouge sombre; l'hydrogène enlève indubitablement l'oxygène et déplace par diffusion les autres gaz; dans les mêmes conditions de température, l'oxygène ne se substitue que pour la moitié du poids des gaz éliminés par l'hydrogène.

Quant aux conséquences à tirer des faits constatés, j'y reviendrai plus loin.

Digitized by Google

XI. — De la fusion de l'argent dans des milieux différents.

Ayant constaté que l'argent fondu et solidifié dans des conditions différentes, et notamment sous une couche de chlorure de calcium ou de borax, contient ou peut contenir des bulles gazeuses, j'ai tenu à m'assurer s'il en est de même de ce métal liquéfié et solidifié dans une atmosphère d'oxyde carbonique ou d'hydrogène, et si, après cette refonte, on retrouve le poids de l'argent mis en expérience. A cet effet, j'ai institué les deux essais suivants :

1° *Fonte de l'argent dans l'oxyde carbonique.*

Le cylindre d'argent pur, fait au tour à l'aide du culot tronconique, dont il a été question page 35, a été introduit dans un creuset de charbon de cornue, purifié soigneusement et *brasqué* ensuite *à l'aide de phosphate de chaux* privé de fer [1]. La brasque avait une capacité cylindrique un peu supérieure au volume du cylindre. Le creuset, couvert d'un couvercle d'un même charbon, a été placé dans un creuset de porcelaine, lequel a été ensuite rempli complètement de charbon de bois pulvérisé et purifié. Après avoir couvert ce creuset de son couvercle, le système a été chauffé dans un moufle de fourneau de Wiesnegg, porté à la température de la pleine fusion de l'argent, placé dans une coupelle d'os à côté du creuset.

Après avoir maintenu pendant une demi-heure cette température, on a laissé se refroidir lentement le tout. Le refroidissement étant effectué, on a brisé le creuset de porcelaine auquel adhérait fortement son couvercle verni.

En ouvrant le creuset en charbon, j'ai constaté que la surface inférieure de son couvercle était tapissée de petits globules d'argent brillant. *La fonte s'était donc accomplie avec volatilisation de ce métal.*

[1] Mon illustre maître Dumas a fondu de l'argent dans l'oxyde carbonique; j'ai, d'après sa demande, repris son expérience, par le motif qu'il a placé l'argent dans le creuset de charbon de cornue, *sans intermédiaire de phosphate basique de calcium.* On sait qu'au point de fusion de l'argent, le carbone se dissout dans ce métal, fait qui peut influer sur la quantité de gaz qui entre et reste en solution, après la solidification du métal.

Digitized by Google

Le cylindre d'argent pesait :

a. Avant la fonte	251gr,918
b. Après la fonte	251,873
d'où une perte de poids de . . .	0,045

Les surfaces du cylindre refondu étaient brillantes, parfaitement moulées sur le phosphate calcique, sauf la base supérieure, qui était légèrement convexe et présentait en outre, vers son centre, une dépression irrégulière correspondant au retrait du métal lors de sa solidification.

Chauffé au dard du chalumeau aérhydrique avec excès d'hydrogène, j'ai pu refondre successivement et superficiellement la base supérieure, et au *minimum* le tiers de la surface cylindrique, communiquant avec cette base, sans en provoquer le soulèvement et l'apparition de bulles gazeuses quelque petites qu'elles soient; tandis qu'au milieu et à la base inférieure, la présence de petites bulles closes s'est manifestée par un très léger soulèvement de la surface, et la production de bulles d'une petitesse extrême qui ont éclaté ensuite. Il est donc établi qu'en le fondant dans une atmosphère d'oxyde carbonique, l'argent perd de son poids par volatilisation, et emprunte au milieu où sa fusion s'accomplit une très petite quantité de gaz qu'il retient, en partie du moins, après sa solidification. Ce fait est conforme à celui observé par Dumas.

2° *Refonte de l'argent dans l'hydrogène.*

J'ai soumis à la fonte, dans une atmosphère renouvelée d'hydrogène sec, le cylindre refondu dans l'oxyde carbonique. A cet effet, le cylindre avait été placé dans une grande nacelle de charbon de cornue purifié, *brasquée à l'aide de phosphate calcique basique pur*. La brasque avait une cavité de la longueur du cylindre, et une capacité double du volume de celui-ci. On a introduit la nacelle dans un tube de porcelaine vernie intérieurement et extérieurement, fixé dans un fourneau à réverbère, d'un diamètre intérieur de 20 centimètres. Le tube de porcelaine, avant d'être introduit dans le fourneau, avait été enduit à 1 centimètre d'épaisseur, sur une longueur de

Digitized by Google

18 centimètres, d'un lut fait d'un mélange d'argile plastique et de plombagine, afin de pouvoir supporter une très haute température sans se déformer. Le fourneau a été alimenté au petit coke brûlant dans de l'air comprimé, injecté à l'aide d'une turbine.

L'argent fondu et maintenu au moins vingt minutes en fusion dans une atmosphère d'hydrogène pur et sec, convenablement renouvelée, a été abandonné à un refroidissement lent, dans la même atmosphère.

Le cylindre d'argent pesait :

a. Avant sa refonte [1].	251gr,729
b. Après sa refonte dans l'hydrogène. .	251,431
Il avait donc perdu	0,298

La surface supérieure du lingot était convexe et d'un blanc mat, *sans nulle apparence de rochage*. Les surfaces en contact avec la brasque de phosphate calcique basique était cristallines, striées, d'un brillant éblouissant.

J'ai pu refondre successivement au dard du chalumeau aérhydrique, avec excès d'hydrogène, la surface supérieure et la moitié supérieure des surfaces latérales du lingot, sans provoquer ni soulèvement, ni apparition de bulles gazeuses; mais la moitié inférieure des surfaces latérales, ainsi que la partie inférieure du lingot, amenées successivement en fusion, se sont montrées bulleuses quoique très faiblement, absolument comme le cylindre refondu et refroidi dans l'oxyde carbonique, comme les culots fondus au chalumeau aérhydrique, refroidis et solidifiés dans le gaz rendu réducteur.

L'argent fondu dans l'hydrogène retient donc, après sa solidification, une *très faible quantité* de ce gaz, mais suffisante toutefois pour être découverte par une refonte partielle. La fonte lui a fait perdre $\frac{1}{880}$ de son poids.

Après ces essais, le cylindre a été chauffé au rouge sombre dans une atmosphère d'hydrogène sec, renouvelée, ainsi qu'il est dit ci-dessus, pour lui

[1] Le poids du cylindre fondu dans l'oxyde carbonique était de 251gr,873, ainsi qu'il est dit ci-dessus. Ce poids a été amené à 251gr,729 par la volatilisation du métal lors de la recherche, à l'aide du chalumeau aérhydrique, des gaz qui y étaient contenus. On observe toujours une perte de poids dans cette recherche, et cette perte croît avec le temps employé à l'essai.

Digitized by Google

enlever l'air qu'il aurait pu renfermer, ayant été chauffé au chalumeau aérhydrique. Il a été abandonné ensuite au refroidissement dans l'hydrogène et conservé pour être soumis au vide à la température rouge sombre, afin d'en extraire et mesurer les gaz qui y seraient contenus.

XII. — De la fonte de l'argent dans les conditions pratiquées pour l'obtention du métal ayant servi à mes déterminations de poids atomiques, et de la fonte de l'argent opérée dans un milieu capable de saturer ce métal d'oxygène.

Avant de faire l'exposé de ces essais, je tiens à déclarer ne les avoir entrepris qu'ensuite du désir *formel* qui m'en a été exprimé par feu mon vénéré maître Dumas. Je rappellerai d'abord que j'ai fondu l'argent pulvérulent après y avoir ajouté *cinq* pour *cent* de son poids de borax, lequel contenait *dix* pour *cent* d'azotate de sodium, et qu'une partie du métal a été coulée dans une lingotière pour le transformer en *barreau*, et qu'une autre partie a été coulée dans de l'eau, de manière à le convertir en *grains* ou en *grenaille* non rochés. Je ferai remarquer que, d'après ces proportions, le mélange ne contenait qu'un *demi* pour *cent* de nitre *cubique*.

1° On a opéré un mélange intime de 50 grammes de borax déshydraté et pulvérisé, de 5 grammes d'azotate de sodium et de 935 grammes d'argent pulvérulent, obtenu par l'action d'une solution d'azotate d'argent saturée de saccharose, sur un excès de solution, à 10 %, d'hydroxyde de sodium, en ébullition dans une grande bassine d'argent, puis convenablement lavé et purifié ainsi qu'il est dit page 28.

Pour se conformer entièrement au procédé suivi par moi, on a introduit ce mélange dans un creuset de terre réfractaire dit *creuset de Paris*, et, après l'avoir couvert de son couvercle, on l'a placé dans un second creuset, qu'on a muni d'un couvercle luté. On a soumis ensuite le tout à une chaleur suffisante pour opérer la fusion de l'argent. Après le refroidissement réalisé lentement, on a brisé le creuset contenant le lingot et on a maintenu celui-ci dans de l'eau en ébullition, acidulée à l'acide chlorhydrique, qu'on a renouvelée jusqu'à solution complète du borax adhérent.

Digitized by Google

Le culot tronconique séché présentait *identiquement* le même aspect que celui que j'ai décrit page 34, et obtenu en fondant l'argent au sein du borax *seul*. Sa surface supérieure, d'un blanc mat, légèrement convexe, offrait vers le centre une dépression irrégulière, et le sommet moulé sur le creuset présentait *trois* petites cavernes sans communication avec l'intérieur.

J'ai chauffé le culot à un fort chalumeau d'argent alimenté au gaz de l'éclairage et à l'air amené à l'aide d'une trompe à eau, de manière à fondre successivement et *superficiellement* : 1° sa surface supérieure; 2° son contour jusqu'à son sommet; j'ai constaté ainsi, avec *une certitude complète*, que la moitié au moins du culot était privée de bulles gazeuses, et que l'autre moitié ne contenait pas plus de petites bulles closes que l'argent fondu au sein du borax seul.

Je ne me suis pas contenté de cette constatation : j'ai fait mettre le culot tronconique au tour à chariot, et on l'a réduit *sous mes yeux en tournures fines*. On le sait, les métaux malléables et ductiles *non bulleux* fournissent ainsi des tournures *continues ;* tandis que les mêmes métaux bulleux produisent des tournures *discontinues*. Or, après que l'outil eut enlevé le *tiers inférieur* du culot, le métal n'a pas cessé de donner des tournures continues. Il y avait donc absence de bulles closes dans les deux tiers du culot à partir de la base du cône.

2° On a décapé par de l'eau acidulée par 5 °/ₒ d'acide chlorhydrique, en ébullition dans un vase de porcelaine, les tournures obtenues, pour leur enlever l'acier amené par l'outil. Le fer se dissout en même temps que de l'argent. Ce dernier métal est attaqué, par l'intervention de l'air, avec formation de chlorure d'argent. Au bout d'une demi-heure que dure le décapage, cette attaque est assez forte pour que le liquide, dans lequel les tournures ont séjourné, se trouble par l'addition de l'eau. J'ai constaté qu'en substituant de l'eau acidulée par l'acide sulfurique à l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique, de l'argent entre en dissolution, au point que le liquide de décapage se colore en brun noirâtre par l'acide sulfhydrique.

On a lavé ensuite les tournures à l'eau pure, jusqu'à disparition de toute acidité.

Après dessiccation, les tournures d'argent dont le poids était de

Digitized by Google

927 grammes, ont été saupoudrées de 25 grammes d'azotate de sodium fondu et pulvérisé, puis fortement comprimées. La masse a été introduite dans un creuset dit de Paris (contenu dans un second creuset), chauffé au delà de la température de la fusion de l'argent, et dans lequel on avait porté, en pleine fusion, une quantité suffisante de borax pour remplir ses pores, afin de soustraire ses parois internes à l'action de l'azotate de sodium en décomposition. Lorsque tout l'argent a été fondu et que l'azotate alcalin ajouté a paru décomposé entièrement, en formant un bourrelet sur les parois du creuset tout autour des bords de la surface convexe produite par le métal fondu, on a versé petit à petit de l'azotate de sodium en décomposition, chauffé, dans un creuset d'argent, près du point de fusion de ce métal, en prenant la précaution d'en verser suffisamment pour couvrir la surface du bain métallique, et assez pour dépasser le bourrelet adhérent aux parois et destiné à préserver celles-ci de l'attaque de l'azotate sodique.

A mesure que la température de l'argent s'est élevée beaucoup au delà de son point de fusion, la surface du bain découvert, ressemblant d'abord à un miroir mercuriel, m'a paru perdre singulièrement de son aspect métallique; elle a *positivement rougi,* pour gagner ensuite de la *translucidité* et se colorer enfin en *bleu très violacé;* il m'a semblé que le fond du creuset, chauffé à très haute température, était visible au travers de l'argent. J'ai observé des phénomènes analogues en fondant l'argent au chalumeau oxhydrique dans une cavité de chaux pure, ou dans une cavité de magnésie pure confectionnée par feu le colonel Caron, à l'aide de la compression de la magnésie fortement calcinée.

Près de son point d'ébullition, l'argent semble donc acquérir une certaine transparence. Henri Sainte-Claire-Deville et moi nous avons constaté le même fait pour le platine porté au point de fusion de l'iridium. Quoi qu'il en soit de cette observation, illusion du sens de la vue ou réalité, lorsque l'argent avait été maintenu de *douze* à *quinze* minutes en contact avec l'azotite de sodium en décomposition ignée, on l'a abandonné à un refroidissement lent dans le creuset couvert.

En découvrant, après la solidification, le creuset, on a constaté que le

Digitized by Google

métal avait roché au point de projeter *abondamment* des globules non seulement sur les parois, mais sur le couvercle du creuset. La surface du culot présentait, vers le centre, un cratère d'environ 2 centimètres de diamètre sur 1 $^1/_2$ centimètre de hauteur; on a brisé le creuset à coups de marteau pour en détacher le culot, le laver à l'eau bouillante et le décaper ensuite à l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique, enfin à l'eau ammoniacale.

Après sa dessiccation, le poids du culot était 862^{gr},5; il avait donc perdu 65^{gr},5 de son poids, représentant le poids des globules d'argent projetés par le dégagement violent de l'oxygène lors de la solidification.

L'examen attentif du culot a permis de constater que le cratère, existant à son *centre,* présentait un nombre considérable de petits cratères contournés en tous sens et formés de globules adhérents les uns aux autres. La surface inférieure du culot était parsemée de nombreuses cavernes.

Ayant fait mettre ce culot au tour, j'ai reconnu que ses parois étaient *très légèrement* bulleuses; en effet, la continuité des tournures fines était rarement interrompue; son intérieur, au contraire, était rempli de grosses bulles, visibles à l'œil, contenant du gaz à pression élevée; enfin la masse interne constituait une véritable éponge métallique, *n'ayant absolument rien de commun avec l'argent fondu et refroidi dans les conditions pratiquées par moi; je n'en excepte même pas le métal affiné au gaz tonnant, versé dans l'eau sans avoir été convenablement refroidi dans un gaz réducteur et produisant des grains ou des grenailles* ROCHÉS.

3° Après ces constatations, j'ai soumis à la refonte, dans un creuset dit de Paris, les tournures décapées et la partie du culot restée intacte, en couvrant le métal de 5 °/₀ de son poids de borax contenant 10 °/₀ d'azotate de sodium. Lorsque l'argent fut liquéfié, on l'a versé d'une hauteur convenable dans de l'eau pour le transformer en partie en grains et en partie en grenailles. Les grains et les grenailles ne présentaient aucun indice de rochage; j'ai essayé un grand nombre des grains et des grenailles au dard du chalumeau aérhydrique, et j'ai reconnu ainsi que certains d'entre eux étaient absolument privés de bulles gazeuses, et que d'autres en contenaient des quantités infiniment petites. Sans faire un choix entre les grains et les grenailles au point de vue de leur état bulleux ou non bulleux, je m'en suis

Digitized by Google

servi pour déterminer, dans le vide, leur contenu en gaz et pour en mesurer le poids spécifique.

4° Pour me rapprocher autant que possible des conditions dans lesquelles j'ai opéré, en 1861, pour la coulée de 2875 grammes effectuée en une seule fois, on a soumis à la fonte un mélange formé de 1500 grammes d'argent pur pulvérulent, préparé comme il est dit, page 25, de 75 grammes de borax desséché et pulvérisé et de $7^{gr},5$ d'azotate de sodium. Lorsque l'argent fut fondu, on l'a coulé dans une lingotière de fer dont le récipient avait 30 centimètres de longueur, 3 centimètres de largeur et 2 centimètres de hauteur. Le récipient était enduit d'une bouillie faite d'un mélange de kaolin naturel et de kaolin calciné, et réduit en poussière impalpable. Après la dessiccation de l'enduit à la température ordinaire, la lingotière a été assez fortement chauffée pour chasser l'eau retenue par l'argile. La latte obtenue avait *un centimètre et demi* environ de hauteur. Pour lui enlever le kaolin adhérent, on l'a frottée d'abord au sable rugueux, et, après l'avoir rougie, on l'a couverte complètement de potasse caustique du tartre, qu'on a maintenue pendant quelques minutes en fusion à sa surface; on a dissous ensuite, à l'eau, l'alcali tenant les éléments du kaolin en suspension et en solution, et la latte d'argent séchée a été débitée, au ciseau d'acier poli, huilé, en barreaux de 3 à 5 centimètres de longueur sur 1 centimètre de largeur. Les petits barreaux, ainsi obtenus, ont été décapés à l'acide chlorhydrique dilué, puis lavés à l'eau ammoniacale et enfin à l'eau pure.

Après avoir été chauffés longtemps au rouge vif, jusqu'à la disparition du potassium et du sodium, dans la flamme du chalumeau aércarbohydrique, ceux-ci ont été portés au dard aérhydrique au point de fusion de leur surface pour s'assurer de la présence ou de l'absence de bulles gazeuses. Les barreaux se sont conduits absolument de la même manière que les petits barreaux obtenus, en 1861, par le même procédé de fusion et de coulage, et dont une partie notable avaient été conservés.

Sous le laminoir, trois des barreaux, prélevés dans la partie de la latte le plus lentement refroidie, se sont laissé amincir, *sans recuit,* jusqu'à cinq à six centièmes de millimètre d'épaisseur, sans présenter une soufflure ou un trou. Une des lames ainsi produites a servi à l'expérience I, décrite pages 51 et suivantes. *Ces barreaux étaient donc privés de bulles closes.*

Digitized by Google

Au § VII de cette notice j'ai exposé les changements de poids que les barreaux ont éprouvés, étant chauffés au rouge sombre successivement dans une atmosphère d'hydrogène et dans l'air.

Dans les notices consacrées à la recherche de la nature et du contenu en gaz, du poids spécifique et du rapport proportionnel de l'argent avec le chlorure de potassium de différentes provenances, sont consignés les résultats constatés à l'aide de barreaux et de lames fournis par la coulée décrite ci-dessus.

XIII. — De la nature et de la quantité des gaz contenus dans l'argent sous des états divers et de provenances différentes.

Après avoir constaté que certains échantillons de l'argent ayant servi à l'exécution de mes travaux sur les poids atomiques et le métal obtenu dans des conditions identiques contiennent des bulles gazeuses, et après avoir déterminé la diminution de poids que subit l'argent lorsqu'il est chauffé au rouge sombre dans l'hydrogène sec, et l'augmentation subséquente qu'il présente lorsqu'il est rougi dans l'air, j'ai recherché la nature et le contenu en gaz pour des états différents. A cet effet, j'ai suivi la méthode employée par mon illustre maître Dumas. On sait qu'elle consiste à chauffer et à maintenir l'argent au rouge sombre dans le vide, tant qu'il fournit trace de gaz, et à recueillir celui-ci pour en déterminer le volume et la nature. Dans l'application de cette méthode, j'ai eu soin de priver l'espace de vapeur mercurielle qui aurait pu altérer l'argent, et j'ai eu recours, pendant l'extraction du gaz, à l'analyse spectrale pour déterminer la nature de celui-ci, et, après sa récolte, j'ai contrôlé le résultat obtenu à l'aide de l'analyse chimique.

Lors de ses recherches *Sur la présence de l'oxygène dans l'argent métallique*[1], Dumas a trouvé que ce métal, fondu dans les conditions généralement usitées, retient moyennement 57 centimètres cubes d'oxygène par kilogramme, et qu'après avoir été soigneusement privé de ce gaz, fondu dans le vide, il possède, après sa solidification, un poids spécifique de $10^{gr},512$. Le volume du kilogramme d'argent solide est donc de $95^{cm^3},06$. Mon illustre

[1] *Ann. de chimie et de physique*, 1878; 5e série, t. XIV, p. 289.

Digitized by Google

maître a constaté que le volume du gaz oxygène retenu par le métal peut s'élever de 158 à 174 centimètres cubes par kilogramme, lorsque le métal a été maintenu longtemps en fusion dans un milieu capable de lui fournir de l'oxygène. Il s'est abstenu de mesurer le poids spécifique de l'argent contenant ainsi de 1,6 à 2 fois son volume d'oxygène. Cette détermination aurait été importante au point de vue de l'état dans lequel le gaz existe dans le métal solidifié. Je reviendrai, du reste, très au long, sur le poids spécifique de l'argent aux différents états dans lesquels j'ai employé ce métal pour mes travaux sur les poids atomiques.

M. Mallet[1] a reconnu que l'argent fondu au *dard oxhydrique, sur un support de charbon de sucre pur,* retient, après sa solidification, $34^{cm^3},63$ d'oxygène par kilogramme, et M. Santos, ayant répété ces essais sous la direction de M. Mallet, a trouvé 30 centimètres cubes, c'est-à-dire environ le tiers du volume de l'argent. Je crois devoir faire remarquer que lors des nombreuses fontes, exécutées par moi, de l'argent au chalumeau oxhydrique ou oxycarbohydrique, le métal a souvent *roché* et a été fortement bulleux, lorsque, sa fusion étant accomplie, je n'avais pas rendu le dard réducteur pour éliminer l'oxygène absorbé par le métal liquéfié à *haute température.* Et même en agissant ainsi, il arrive que le volume de l'argent refroidi et solidifié ensuite dans le gaz réducteur est augmenté de 5 °/o par suite de l'existence de *bulles gazeuses.* Dans la notice consacrée au poids spécifique de l'argent sous différents états, je mettrai ce fait hors de tout doute.

Quoi qu'il en soit de cette remarque, en admettant les nombres indiqués ci-dessus, et *en attribuant la perte éprouvée sous l'action de l'hydrogène au rouge sombre par le métal employé par moi à mes travaux sur les poids atomiques,* et par le métal reproduit dans les mêmes conditions de fonte et d'état, ces métaux contiendraient respectivement *en moyenne* par KILOGRAMME :

D'après Dumas . . .	gr. 0,081.51	D'après Santos . . .	gr. 0,042.89
— Mallet. . . .	0,047.61	— Stas	0,017.78

Les longs et minutieux détails dans lesquels je suis entré à l'occasion du

[1] *Revision of the atomic Weigt aluminium* (PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON for the year 1880, pp. 1003 à 1020.

Digitized by Google

métal employé à mes anciens travaux et à l'occasion du métal préparé par les différentes méthodes de vérification indiquées dans le présent travail, me dispensent de définir plus amplement l'origine et l'état physique de l'argent. Je puis donc me borner à décrire le procédé que j'ai suivi pour extraire et doser les gaz contenus dans ces métaux, et pour essayer d'en reconnaître la nature. Pour toutes ces recherches, M. Rommelaere m'a prêté un concours dévoué, dont je ne saurais assez le remercier.

Quel qu'ait été son état, l'argent, après avoir été rougi à l'air et refroidi ensuite sous une cloche renfermant de l'air maintenu sec, à l'aide de l'acide sulfurique, a été placé dans une nacelle de porcelaine, préalablement chauffée au rouge vif pendant six heures, refroidie ensuite à l'air sec et pesée, ainsi qu'il est dit dans la Notice IX, *littera* D.

La nacelle contenant le métal pesé a été introduite soit dans un tube de verre *aussi peu fusible que possible,* bouché par un bout, soit dans un tube de porcelaine, ouvert par un bout ou par les deux bouts. Le tube ouvert par les deux bouts était identique aux tubes décrits ci-dessus pour soumettre les différents échantillons d'argent à un courant d'hydrogène.

Pour empêcher l'adhérence de la nacelle avec le verre ou avec le vernis de la porcelaine chauffée, j'ai garni les tubes de verre et de porcelaine d'une feuille de platine suffisamment longue et large pour couvrir complètement leurs parois intérieures en contact avec la nacelle de porcelaine.

Le tube de verre réfractaire, bouché par un bout, avait 50 centimètres environ de longueur, 58 millimètres de diamètre extérieur et 52 millimètres de diamètre intérieur. Il provenait de l'une des deux fontes de verre que j'ai fait opérer en 1861, pour me procurer des ballons, des flacons, des cylindres, etc., en verre inattaquable aux acides et aussi peu fusible que possible. Il renfermait :

Acide silicique	77.3
Oxyde de potassium	6,2
Oxyde de sodium	6,5
Oxyde de calcium	10,0
	100,0

J'ai armé le bout ouvert du tube d'une douille de laiton, de 5 centimètres

Digitized by Google

de longueur, dans une rainure de laquelle se vissait, avec interposition d'une rondelle de cuir parfaitement dressée, séchée et imbibée de paraffine dans le vide, un disque muni d'un robinet soudé de même métal, mais à clef de bronze. La douille était fixée sur le verre à l'aide d'un mastic formé de gomme-laque qui avait été dissoute dans l'alcool anhydre, précipitée par l'eau, puis fondue dans le vide sec, et de pierre-ponce finement broyée et calcinée. Ce mastic présente l'avantage d'être *sans tension dans le vide*, à la température ordinaire, mais il a l'inconvénient d'être cassant lorsqu'on exerce une traction sur lui. Pour ce motif, après que la douille fut mastiquée sur le tube, j'ai couvert extérieurement d'un bourrelet assez épais du même mastic 1 centimètre de la douille, de manière à boucher les pertuis pouvant exister entre celle-ci et le verre. Enfin, j'ai répandu sur ce bourrelet une forte couche de gomme-laque qui avait été dissoute dans l'alcool absolu et fondue ensuite dans le vide.

Le tube bouché, muni de sa douille ainsi mastiquée, a tenu parfaitement le vide en maintenant son extrémité à la température ordinaire. Je me suis assuré de ce fait en mettant en communication le robinet de la douille avec un tube barométrique en T, plongeant dans la même cuvette qu'un baromètre proprement dit, et en adaptant au bout opposé au tube T un robinet en communication avec une pompe à mercure. Après avoir fait fonctionner la pompe de manière à réduire la tension interne au minimum possible, j'ai fermé la clef du robinet en communication avec la pompe. Quelles qu'aient été les oscillations du baromètre survenues pendant un septenaire, la différence initiale est restée constante, la température ne variant pas.

Pour soumettre à l'action de la chaleur le bout du tube fermé contenant la nacelle avec l'argent, j'ai glissé celui-ci dans un *moufle tubulaire aplati* d'un fourneau longitudinal décrit page 57. Avant la mise en position du tube dans le moufle, j'ai eu soin d'enduire complètement les parois de celui-ci d'une couche d'une solution saturée d'azotate de magnésium dans laquelle j'avais incorporé, autant que possible, de la magnésie fortement calcinée, pour provoquer son indifférence chimique. Après l'avoir bouché à l'aide d'une plaque en terre réfractaire, enduite également de la pâte magnésienne, j'ai chauffé le moufle au blanc pour le couvrir complètement d'oxyde de magnésium sans action sur le verre.

Digitized by Google

En agissant ainsi, j'ai eu pour but d'empêcher l'adhérence du verre avec le moufle, adhérence qui, lors du refroidissement, entraine facilement la fêlure du verre.

Les échantillons d'argent que j'avais à soumettre, dans le vide, au rouge étant pour la moitié une partie du métal qui a servi à mes déterminations de poids atomiques, et que, partant, j'avais tout intérêt à conserver intacte pour l'employer, après en avoir retiré les gaz reclus, à de nouvelles déterminations, j'ai dû m'assurer d'abord de la résistance du verre à l'action combinée de la chaleur et de la pression atmosphérique. J'ai reconnu, sans doute possible, qu'un tube de verre de *trente millimètres de diamètre extérieur* et de vingt-six millimètres de diamètre intérieur, et de la composition indiquée ci-dessus, n'éprouve aucune déformation lorsqu'il est chauffé pendant *six heures* au *rouge sombre*, étant rempli d'air à la pression ambiante, tandis qu'il se déforme lentement lorsque, étant complètement vide d'air, la température dépasse sensiblement le rouge sombre.

Il résulte des expériences faites par mon illustre maître Dumas, confirmées par mes propres observations, ainsi que je l'établirai plus loin, qu'une température comprise entre 400 et 600 degrés, c'est-à-dire entre le point d'ébullition du soufre et le rouge sombre, est largement suffisante pour éliminer, dans le vide, les gaz contenus dans l'argent.

En observant attentivement la position de la colonne mercurielle d'un tube barométrique en communication avec l'appareil dans lequel le vide était fait, j'ai constaté que, *dans le vide*, l'argent chauffé, à la température de l'ébullition du soufre, abandonne *graduellement*, dans l'espace de cinq à six heures, la totalité des gaz qu'il renferme, et que, entre le rouge naissant et le rouge sombre, il dégage dans l'espace de *quinze* à *vingt minutes* les neuf dixièmes au moins des gaz qu'il contient; le dixième restant n'est éliminé qu'avec une extrême lenteur : quatre à cinq heures sont nécessaires pour priver ce métal complètement de ses gaz.

Au rouge sombre, le dégagement des gaz est constamment accompagné de volatilisation du métal dont la surface perd en même temps son brillant pour devenir blanche et mate; tandis qu'à la température de l'ébullition du soufre, le métal conserve son brillant, et la perte de poids subie par l'argent

Digitized by Google

est rénfermée absolument dans la limite du poids du gaz dégagé. En d'autres termes, *dans le vide, vers 450°, l'argent est fixe, tandis qu'il se volatilise sensiblement au rouge sombre.*

C'est dans ces deux conditions de température et de temps que j'ai opéré en me servant de tubes de verre dur et de tubes de porcelaine.

J'ai pris des dispositions identiques pour faire le vide dans les tubes de verre et dans les tubes de porcelaine, pour extraire ensuite les gaz abandonnés par l'argent chauffé, et pour constater le volume et la nature de ceux-ci.

Avant de décrire ces dispositions, je vais exposer d'abord les recherches que j'ai exécutées sur les tubes de porcelaine fournis par le commerce et confectionnés d'après les procédés ordinaires et ceux que j'ai été obligé d'y substituer pour me mettre à l'abri des défauts présentés par les premiers.

Des tubes de porcelaine.— Les tubes et cornues de porcelaine de fabrication *ordinaire* sont formés d'une pâte qui n'a pas été soumise à une température suffisamment élevée pour opérer la *vitrification* des silicates qui entrent dans sa composition. De plus, les tubes et les cornues du commerce ne sont émaillés qu'intérieurement. Il résulte de cet état de choses que ces objets manquent de l'*imperméabilité* caractéristique de tout silicate qui a subi la fusion et qui ensuite n'a pas été dévitrifié.

Je me suis assuré de ce défaut d'imperméabilité par les recherches suivantes: après avoir adapté aux deux bouts d'un tube de porcelaine de fabrication ordinaire, vernie seulement intérieurement, des douilles métalliques, munies de robinets et parfaitement mastiquées pour tenir le vide, ainsi que je l'ai exposé page 81, j'ai disposé le tube dans le *moufle tubulaire aplati* décrit page 57, dont la longueur était de 20 centimètres. Le tube ayant 60 centimètres de longueur, chacun de ses bouts sortait donc de 20 centimètres du moufle. Pour maintenir à la température ordinaire les douilles et la moitié des bouts des tubes, j'ai entouré celles-ci d'une *spire creuse* très flexible, de plomb, par lesquelles j'ai fait passer un courant d'eau froide pendant que la partie du tube engagée dans le moufle tubulaire était portée à une température élevée.

J'ai engagé et mastiqué ensuite le bout de robinet d'une des douilles dans

Digitized by Google

un tube de fer de 10 centimètres de longueur, dans lequel était mastiqué déjà un tube très flexible de plomb de 6 millimètres de diamètre extérieur et de 1 millimètre de diamètre intérieur, communiquant avec une excellente machine pneumatique, en état de faire le vide à $0^{mm},5$ près.

Après avoir aspiré une quantité suffisante d'air sec au travers du tube en porcelaine, j'ai fait pénétrer et j'ai mastiqué le bout de la douille opposée dans la branche horizontale d'un tube de verre de même diamètre intérieur, soudé à un tube vertical de 90 centimètres de longueur, plongeant dans un bain de mercure, dans lequel était fixé à demeure un baromètre dont le tube avait le même diamètre que le premier.

Ces dispositions étant prises, on a fait le vide dans le tube de porcelaine aussi exactement que possible, et en tournant la clef du robinet on a intercepté la communication entre le tube de porcelaine et la machine pneumatique.

La différence entre les deux niveaux de mercure, déterminée au cathétomètre, a été $0^{mm},75$. Cette différence a continué à exister en abandonnant l'appareil à lui-même pendant deux jours; preuve qu'à la température ordinaire le système tenait parfaitement le vide.

Après cette constatation, j'ai procédé à l'essai de l'imperméabilité du tube de porcelaine chauffé à des températures croissantes, depuis le rouge naissant jusqu'au point de fusion de l'argent, en ayant soin de faire circuler, pendant l'échauffement, un courant rapide d'eau froide au travers des spires creuses de plomb entourant les douilles et la moitié des bouts du tube, afin de les maintenir à basse température.

Après avoir porté lentement, au *rouge sombre*, l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine, j'ai maintenu ce degré de chaleur de *sept* heures du matin jusqu'à *midi*. Pendant ces cinq premières heures, la différence initiale, mesurée au cathétomètre est restée constante entre le niveau du mercure soulevé dans le tube barométrique en communication avec le tube de porcelaine et le baromètre; au rouge sombre, il n'y a donc aucun passage de l'air extérieur vers l'intérieur du tube.

J'ai élevé ensuite au *rouge vif* l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine, et j'ai entretenu ce degré de chaleur jusqu'à quatre heures de l'après-dîner. Pendant ces quatre heures la différence initiale des

Digitized by Google

deux niveaux de mercure est encore restée constante. Au rouge vif, le tube de porcelaine vide d'air ne livre donc pas passage à l'air. J'ai porté au *rouge clair* l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine, et ayant maintenu ce degré de chaleur jusqu'à *neuf heures du soir*, c'est-à-dire pendant cinq heures, la différence entre les deux niveaux de mercure était de 7^{mm},2. Du gaz avait donc passé de l'extérieur à l'intérieur du tube. Néanmoins, il m'a été impossible de constater la moindre déformation du tube de porcelaine.

Voulant m'assurer du mode d'infiltration du gaz, j'ai abaissé la température de l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube entre le rouge sombre et le rouge vif, et M. Rommelaere et son assistant ont entretenu toute la nuit cet espace à ce degré de chaleur. J'ai agi ainsi, afin d'empêcher la casse du tube par le refroidissement.

Le lendemain à 8 heures du matin, j'ai élevé de nouveau au *rouge clair* la température de l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine. Après une attente de *vingt minutes,* j'ai déterminé au cathétomètre la différence des niveaux du mercure, et j'ai constaté qu'elle était égale à 7^{mm},8. Ce résultat prouve que la tension observée la veille provient du défaut d'imperméabilité de la substance du tube chauffée au rouge clair, et ne peut pas être attribué à un accident qui serait arrivé au mastic employé pour fixer les douilles sur le tube de porcelaine et sur le tube barométrique. En effet, s'il y avait eu accident, la tension interne aurait dû s'accroître pendant les neuf heures de la nuit que le tube est resté chauffé entre le rouge sombre et le rouge vif.

J'ai porté enfin le moufle tubulaire à la température la plus élevée qu'on peut réaliser au fourneau de Wiesnegg alimenté au gaz de l'éclairage. A 9 heures du matin, ce degré de chaleur a été atteint. J'ai substitué alors à la pompe pneumatique, une pompe à mercure du plus grand modèle, et tout en maintenant la température du moufle constante, j'ai fait agir la pompe de manière à extraire et à recueillir le gaz contenu dans le tube de porcelaine. Ce résultat obtenu, j'ai intercepté de nouveau la communication entre la pompe et le tube en porcelaine.

La colonne mercurielle qui, sous l'action de la pompe, s'était élevée, à

Digitized by Google

1 millimètre près, au même niveau que le baromètre, a baissé de $4^{mm},5$ en *trois heures* de temps. J'ai laissé agir la chaleur depuis 9 heures du matin jusqu'à 4 heures de l'après-dîner. Au bout de ce temps, la partie du tube chauffée s'était déformée sous la pression atmosphérique. Ayant abaissé la température jusqu'au rouge vif, on a fait fonctionner la pompe de manière à extraire aussi parfaitement que possible tout le gaz contenu dans le tube de porcelaine. Le volume du gaz ainsi récolté mesurait $31^{cm^3},5$. Il était *saturé d'humidité* et se composait d'azote, d'oxygène et d'anhydride carbonique.

Ainsi point de doute : à partir de la température *rouge clair,* le tube de porcelaine de fabrication ordinaire, vide d'air, laisse passer lentement et indéfiniment les gaz de l'enceinte au sein de laquelle il est chauffé, en se déformant. Henri Sainte-Claire-Deville, en se servant de tube de même fabrication, a observé les mêmes faits. En effet, ayant essayé d'extraire du platine iridié les gaz dont lui et moi avions reconnu la présence dans cet alliage, il a constaté qu'au *rouge vif* le tube laisse passer lentement et indéfiniment les produits de la combustion [1]. J'ai la conviction intime, pour ne pas dire la certitude, que plusieurs observateurs, en opérant à haute température, ont pris pour des gaz occlus ou reclus, les produits de la combustion soit du charbon, soit du gaz de l'éclairage, filtrés lentement au travers des tubes, ballons et cornues de porcelaine vernie intérieurement, extraits et récoltés par la pompe de Sprengel.

Ainsi que je l'ai dit ailleurs, j'ai assisté à l'exécution d'une partie du travail de mon illustre maître Dumas, et j'ai prévu et prédit alors le passage par filtration lente des gaz au travers de la porcelaine *ordinaire* surchauffée ; mais je ne veux pas m'étendre davantage sur ce sujet, et le motif de mon silence se conçoit aisément.

De la confection de tubes de porcelaine imperméables aux gaz à haute température. — Désirant me procurer des tubes de porcelaine imperméables aux gaz à très haute température, j'ai pris le parti de rechercher par

[1] Voir les *Types en platine, en iridium et en platine iridié à différents titres*, par MM. Broch, Sainte-Claire-Deville et Stas, rapporteur. (Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures, séances de 1878, p. 76. Paris, 1879.)

Digitized by Google

moi-même les proportions dans lesquelles doivent être mêlées les matières premières employées dans la fabrication de la porcelaine *dure*, pour que les tubes vernis extérieurement et intérieurement, et cuits à la température du four à porcelaine, éprouvent une vitrification suffisante pour amener l'imperméabilité, étant chauffés vides d'air, au point de fusion de l'argent.

A cet effet, je me suis procuré les matières premières employées en Belgique pour la fabrication de la porcelaine dure.

Ces matières sont :

1° La pâte dite allemande (kaolin), dont se servent les fabricants de porcelaine de Berlin;

2° La pâte dite française;

3° L'émail ou feldspath, étonné, pulvérisé et lévigé.

J'ai prié M. Klement, docteur en sciences et aide-naturaliste au Musée royal d'histoire naturelle à Bruxelles, d'analyser ces différentes matières séchées préalablement à 105°. Il a obtenu les résultats suivants :

	Pâte allemande.	Pâte française.	Émail.
SiO^2	49,65	74,38	74,35
Al^2O^3	36,37	16,59	15,71
Fe^2O^3	1,18	0,31	Traces.
CaO	0,78	2,53	2,46
MgO	0,27	Traces.	Traces.
K^2O	0,71	1,56	2,82
Na^2O	0,28	0,42	4,46
CO^2	0,00	1,37	0,00
H^2O	12,04	4,47	0,97
	101,28	101,53	100,77

En transformant, par le calcul, en oxyde de potassium l'oxyde de sodium contenu respectivement dans la pâte allemande, dans la pâte française et dans l'émail, et faisant ensuite de part et d'autre la somme de l'alcali total, on constate que l'émail renferme une quantité d'oxyde alcalin *octuple* de celle de la pâte allemande, et un peu plus que *quadruple* de la pâte française. En revanche, cette dernière pâte contient près de trois fois et demi plus d'oxyde de calcium que la pâte allemande.

Digitized by Google

Je n'ai pu découvrir aucune donnée analytique sur la quantité d'oxyde alcalin et alcalino-terreux nécessaire pour amener, à la température du four à porcelaine, la vitrification du silicate d'alumine contenu dans le kaolin; j'ai donc fait effectuer des essais de composition de pâte qui, tout en étant assez réfractaire pour supporter sans grande déformation la température de la fusion du fer, éprouve une vitrification suffisante pour devenir imperméable aux gaz. Dans ce but, après avoir séché préalablement vers 100° les matières premières, on a fait des mélanges formés respectivement de

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Pâte allemande . .	50	55	60	40	40	40
Pâte française. . .	0	0	0	20	15	10
Émail	50	45	40	40	45	50
	100	100	100	100	100	100

A l'aide de ces mélanges, on a confectionné, par la voie du *coulage,* des objets qu'on a cuits *au grand feu,* sans être couverts d'émail.

De ces six essais, deux seulement ont fourni des résultats complètement satisfaisants. Ce sont les nos 1 et 4, et encore l'objet confectionné avec le mélange n° 1, dont la pâte était la plus *fondue,* avait subi une légère déformation.

Les porcelaines nos 1 et 4 étaient blanches, parfaitement translucides sous une épaisseur de 3 millimètres. La lumière transmise était jaunâtre. Leur cassure offrait un aspect *brillant, vitreux;* on y remarquait, à la loupe, de petits grains de quartz enveloppés par la substance vitreuse fondue. En effet, les pâtes et l'émail contenaient de petits cassons de quartz. Ces porcelaines à pâte fondue ont présenté l'inconvénient d'être très cassantes au choc et à la traction, et de résister aux variations brusques de température *aussi mal que le verre épais.* Néanmoins, eu égard à leur imperméabilité, on a confectionné par *la voie du coulage,* avec le mélange n° 1, c'est-à-dire formé de parties égales de kaolin et de feldspath, des tubes fortement vernis au feldspath *intérieurement* et *extérieurement*, ouverts par les deux bouts, de 60 centimètres de longueur sur 6 centimètres de diamètre extérieur; et avec le mélange n° 4, formé de 40 de kaolin, 40 de feldspath et de 20 de pâte

Digitized by Google

française, des tubes vernis au feldspath *intérieurement* et *extérieurement*, ouverts par un bout et fermés par le bout opposé, de 50 centimètres de longueur sur 6 centimètres de diamètre extérieur.

Quoique la confection et la cuisson des tubes eussent été faites avec les plus grands soins, cependant sur douze tubes ouverts par les deux bouts il n'y en a eu que quatre qui ne furent que légèrement aplatis et courbés, et les tubes, au nombre de six, fermés par un bout furent tous très légèrement aplatis, mais à peine courbés.

Quoi qu'il en soit de ces défauts de forme, les tubes ouverts par les *deux bouts* ont servi, ainsi que je l'ai dit plus haut, à chauffer l'argent dans l'hydrogène et ensuite à déterminer le contenu de l'argent en gaz. Les tubes fermés par un bout ont été destinés à me procurer de l'argent chauffé dans le vide pour priver ce métal des gaz reclus ou occlus.

Des dispositions prises pour faire le vide dans les tubes de verre ou de porcelaine, pour extraire, recueillir et déterminer le volume et la nature des gaz contenus dans l'argent sous un état donné. — En me servant des tubes de porcelaine ouverts aux deux bouts, dont je viens de faire connaître la confection, j'ai armé chacun de ces bouts d'une douille métallique soigneusement mastiquée, munie d'un disque vissé, garni d'un robinet de laiton à clef de bronze, ainsi que je l'ai exposé ci-dessus au sujet de l'essai fait sur le degré d'imperméabilité des tubes de porcelaine de fabrication ordinaire. J'ai entouré les douilles et la moitié des bouts libres du tube de porcelaine d'une spire creuse et serrée de plomb, par laquelle passait un courant d'eau froide pendant que la partie du tube engagée dans le moufle tubulaire était à température élevée.

Par l'ouverture laissée en dévissant le disque appliqué sur l'une des douilles, j'ai introduit dans le tube de porcelaine la nacelle contenant l'argent à soumettre à l'action combinée de la chaleur et du vide, et j'ai fermé ensuite l'ouverture en y vissant le disque.

J'ai mis le robinet soudé au disque de la douille, mastiquée sur le bout opposé du tube, en communication avec le système destiné à faire le vide, à extraire et récolter ensuite les gaz devenus libres. Il me reste à exposer les

Digitized by Google

dispositions que j'ai prises à ce sujet, dispositions qui ont été les mêmes en me servant d'un tube de verre réfractaire, n'ayant qu'une seule ouverture. J'ai glissé d'un côté la branche libre du robinet soudé au disque vissé sur la douille dans un tube de verre, long de 10 centimètres et d'un diamètre à peu près égal à celui de cette branche; j'ai introduit d'un autre côté, dans le bout opposé du même tube, la branche libre d'un des deux robinets soudés à un appareil destiné à l'analyse spectrale des gaz, dit tube de Geissler, placé *verticalement*.

Après avoir soigneusement mastiqué les deux branches dans le petit tube, j'ai fait pénétrer très avant et parfaitement mastiquée la branche libre du second robinet de l'appareil de Geissler dans un tube de verre du même diamètre environ que la branche du robinet, long de 20 centimètres et au centre duquel était soufflée une boule solide de 2 centimètres de diamètre, dans les parois de laquelle étaient soudés solidement deux fils de platine dans la direction du centre, *en laissant entre les deux bouts un espace de 2 à 3 millimètres*. Ces deux fils de platine, soudés dans le verre, étaient maintenus extérieurement à l'aide de bourrelets épais de gomme-laque, fondue dans le vide; ils étaient destinés à livrer passage à un courant devant produire une étincelle électrique ou une décharge.

En prenant cette disposition, j'avais pour but de contrôler, par l'analyse spectrale de l'étincelle ou de la décharge, les résultats fournis par le tube de Geissler. Les deux branches du tube à boule contenaient, sur une longueur de 6 centimètres, du sélénium fondu et concassé, maintenu à l'aide de tampons de soie de verre et de ressorts à boudins en fil de platine préalablement rougis. *Le sélénium était destiné à fixer la vapeur mercurielle qui se répand à la température ordinaire dans le vide.*

Dans l'autre bout du tube à boule pénétrait et était solidement mastiqué un long tube de plomb très flexible, en communication, à l'aide d'une fourche à quatre branches munies, chacune, d'un robinet de verre : 1° avec une excellente pompe pneumatique; 2° avec une pompe à mercure; 3° avec une pompe de Sprengel. *Ces deux dernières pompes étaient du plus grand modèle;* 4° avec un appareil donnant de l'hydrogène pur et sec.

J'ai employé une pompe pneumatique pour faire le vide, aussi avant que

possible, dans le système, à cause des accidents parfaitement connus auxquels on est exposé par l'emploi d'une pompe à mercure. La pompe à mercure ne m'a servi qu'à achever l'épuisement de l'air autant que le permet une pompe de cette nature, et à extraire et à récolter le gaz dégagé par l'argent. Pendant le fonctionnement de celle-ci, pour me mettre à l'abri des accidents dont j'ai été témoin, je me suis chargé du soin d'opérer successivement l'ouverture et ensuite la fermeture du robinet qui met la pompe en communication avec le système d'appareil dans lequel il s'agit de faire le vide. Je dois avouer que, quelle que soit la perfection de tous les robinets de la pompe, arrivé à une certaine tension, le mercure, en abandonnant l'espace qu'il a occupé, m'a semblé laisser dans celui-ci une quantité de gaz égale en tension à celle que peut contenir le système dans lequel le vide doit être fait. De sorte qu'à un moment donné, il y a équilibre entre les tensions des deux espaces. La tension mesurée au cathétomètre sur le baromètre adapté sur la pompe de Sprengel mise en communication avec tout le système, a été égale à $0^{mm},75$ à 18^{o}. Cependant j'avais séché, avec les plus grands soins, non seulement le système dans lequel le vide devait être effectué, mais toutes les parties des pompes à mercure et de Sprengel, ainsi que le mercure qui devait circuler dans les pompes.

Eu égard à la capacité relativement considérable du tube de porcelaine (1400 centimètres cubes) dans lequel l'argent devait être chauffé, la pompe de Sprengel, fonctionnant après la pompe à mercure, n'a produit qu'un résultat absolument insignifiant. En effet, dans un essai fait à blanc, pour m'assurer que le système établi comme il est décrit ci-dessus, tenait indéfiniment le vide, j'ai pu constater qu'après un fonctionnement continu de *septante-deux heures*, il existait encore une différence très appréciable de hauteur entre la colonne de mercure soulevée et le baromètre. Aussi n'ai-je utilisé la pompe de Sprengel que pour effectuer le renouvellement du gaz contenu dans le tube électrique de Geissler et dans le tube à boule munie de fils de platine, lorsque je voulais déterminer, à l'aide de l'analyse prismatique du courant, ou de l'étincelle, ou de la décharge, la nature du gaz dégagé de l'argent, sous l'influence combinée du vide et d'une chaleur convenable. Lors de l'analyse prismatique du courant, ou de l'étincelle, ou de la décharge,

Digitized by Google

je me suis efforcé de régler l'intensité du courant de manière à obtenir *non des spectres à bandes,* mais des *spectres à traits déliés, brillants, qui seuls sont susceptibles d'une observation exacte.*

Pour l'exécution des opérations, j'ai procédé ainsi qu'il suit : après avoir introduit dans le tube de porcelaine, placé dans le moufle tubulaire, la nacelle contenant l'argent pesé, j'ai vissé immédiatement sur la douille le disque muni de son robinet ouvert, et j'ai aspiré lentement, à l'aide de la pompe à mercure, 10 litres environ d'air privé d'anhydride carbonique et séché à l'anhydride phosphorique, ou bien de l'hydrogène sec, suivant que l'argent avait été chauffé dans l'air ou traité à l'hydrogène; puis j'ai fermé le robinet soudé au disque. A l'aide de la machine pneumatique, on a vidé d'air ou d'hydrogène tout le système, aussi avant qu'il a été possible. Ce résultat étant atteint, on a fermé la communication avec la pompe pneumatique.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, pour éviter les accidents, je me suis chargé du soin d'ouvrir et de fermer les robinets de la pompe à mercure, qu'on a fait fonctionner ensuite aussi longtemps qu'elle a fourni la moindre trace de gaz. La communication de la pompe à mercure avec le restant de l'appareil étant fermée, j'ai intercepté également la communication du tube de porcelaine avec la pompe de Sprengel, en tournant le robinet soudé au disque vissé sur la douille. On a abandonné le tout pendant *douze heures* à lui-même, pour s'assurer : 1° si le tube, muni de ses douilles et robinets, tient le vide; 2° si les ajutages des tubes électriques tiennent le vide.

Ayant acquis le lendemain la preuve que la tension interne était la même que celle de la veille, en prenant toutes les précautions possibles pour ne pas faire éclater le tube de porcelaine, dans une série de quatorze expériences, on a chauffé le moufle tubulaire ENTRE le *rouge naissant* et le *rouge sombre.* On a maintenu cette température de 8 heures du matin jusqu'à 4 heures de l'après-dîner, en s'assurant de temps à autre que l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine fournit par l'analyse prismatique une *bande spectrale obscure.* Pendant ce temps, on a fait agir la pompe de Sprengel pour déplacer les gaz contenus dans les tubes électriques, en ayant soin de recueillir le peu de gaz ainsi entraîné. D'heure en

Digitized by Google

heure, M. Rommelaere et moi nous avons fait l'analyse prismatique des gaz traversant le tube de Geissler et le tube à boule avec fils de platine.

L'argent ayant été maintenu ainsi dans le vide pendant huit heures, à une température comprise entre le rouge naissant et le rouge sombre, en se servant de la pompe à mercure, on a extrait et récolté ensuite le gaz contenu dans le système. On a eu soin de laisser agir la pompe aussi longtemps qu'elle a fourni la moindre trace de gaz. On a réuni ensuite les gaz recueillis par les pompes à mercure et de Sprengel, pour en mesurer le volume et en déterminer la nature par l'analyse chimique.

Le tube de porcelaine ainsi que tout le système étant vidés de gaz, on a diminué très lentement l'écoulement du gaz de l'éclairage par les brûleurs chauffant le moufle, et enfin on a éteint le gaz pour laisser se refroidir le fourneau et son contenu. Le lendemain j'ai vérifié si la tension interne était la même que la veille, tant dans le tube de porcelaine que dans les tubes électriques en communication avec le manomètre de la pompe à mercure. Ayant constaté cette égalité, j'en ai conclu que le gaz recueilli provenait exclusivement de l'argent.

Les trois recherches que j'ai effectuées dans un tube de verre fermé par un bout, ont été exécutées identiquement de la même manière que celle que je viens d'exposer, sauf toutefois en ce qui concerne le remplissage du tube par de l'air ou par de l'hydrogène sec. J'ai procédé à ce remplissage en vidant le tube et tout le système, à plusieurs reprises, à l'aide de la machine pneumatique et en laissant entrer de l'air parfaitement privé d'anhydride carbonique et d'humidité, ainsi que je l'ai dit ci-dessus, ou de l'hydrogène. Dans le but de m'assurer que dans l'espace de huit heures l'argent exposé au vide, à une température comprise entre le rouge naissant et le rouge sombre, perd complètement les gaz qu'il renferme, j'ai institué deux expériences dans lesquelles j'ai soumis l'argent privé de gaz, dans les conditions que je viens d'indiquer, à une température croissant du rouge sombre jusqu'au degré de chaleur le plus élevé que le tube de porcelaine a pu supporter sans éprouver, sous la pression extérieure, *une déformation en état d'empêcher l'extraction* de la nacelle de porcelaine du tube qui la contenait, et la casse du tube par le refroidissement.

Digitized by Google

Ainsi, après avoir maintenu l'argent pendant huit heures dans le vide, entre le rouge naissant et le rouge sombre, et après avoir enlevé aussi parfaitement que possible, à l'aide de la pompe à mercure, tout le gaz abandonné par l'argent, j'ai porté le *lendemain*, au *rouge vif*, l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine, en faisant fonctionner en même temps la pompe de Sprengel. Lorsque le métal eut été exposé dans le vide pendant *quatre heures*, on a fait agir la pompe à mercure pour extraire rapidement et récolter le gaz que le métal avait fourni. Le résultat de ces tentatives a été absolument nul, c'est-à-dire que *ni la pompe de Sprengel, ni la pompe à mercure n'ont donné un volume mesurable de gaz.*

Ayant porté la température du moufle au *rouge clair* d'abord et ensuite à la température la plus élevée à laquelle j'ai pu atteindre sans provoquer une trop grande déformation du tube, tout en faisant fonctionner la pompe de Sprengel, j'ai maintenu l'argent de *midi* jusqu'à *six heures* du soir dans ce milieu. La pompe de Sprengel ni la pompe de mercure n'ont extrait un volume mesurable de gaz. Ces résultats confirment pleinement les observations faites par mon illustre maître Dumas, qui a constaté que les gaz contenus dans l'argent se dégagent à température relativement basse (400 à 600°), pourvu que le métal soit maintenu à cette température pendant six à huit heures.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, ayant constaté avec certitude la volatilité de l'argent dans le vide pendant les quatorze expériences exécutées à une température comprise entre le rouge naissant et le rouge sombre, j'ai tenu à m'assurer si le métal argent peut être privé, dans le vide, des gaz qu'il renferme sans éprouver une perte de poids autre que celle due au gaz dégagé. Dans ce but, j'ai institué une dernière expérience, dans laquelle j'ai exposé le métal dans le vide à la température du point d'ébullition du soufre. A cet effet, j'ai introduit dans un tube de porcelaine, disposé dans le moufle tubulaire, un très large tube de verre réfractaire, bouché par un bout, de 60 centimètres de longueur, courbé vers son extrémité ouverte à 45°, et contenant 50 grammes de soufre. J'ai cherché, pour une *pression constante* de 25 millimètres d'eau, l'ouverture à donner à la clé du robinet à cadran d'écoulement du gaz de l'éclairage en combustion, au bout des

Digitized by Google

quatre brûleurs sous le moufle tubulaire, pour porter et maintenir en une douce ébullition le soufre dans le tube de verre contenu dans le tube de porcelaine. Ayant fixé ce débit, tout en laissant ouverte la clé du robinet à cadran, j'ai arrêté l'écoulement du gaz en fermant le robinet en communication avec la canalisation, et j'ai abandonné le tout au refroidissement.

Après avoir retiré du tube de porcelaine le tube de verre contenant le soufre, j'y ai glissé, sur une feuille de platine, la nacelle de porcelaine avec l'argent destiné à être chauffé dans le vide, à la température de l'ébullition du soufre. J'ai vissé ensuite, sur la douille ouverte, le disque de fermeture muni de son robinet, et après avoir aspiré, à l'aide de la pompe pneumatique, une quantité suffisante d'air pur et sec au travers du système, j'y ai fait le vide, comme dans les expériences précédentes. M'étant assuré que le système tenait parfaitement le vide, j'ai rétabli avec précaution l'écoulement du gaz que j'ai allumé pour porter le tube de porcelaine à la température de l'ébullition du soufre; j'ai maintenu cette température tant que la pompe à mercure a fourni trace mesurable de gaz. Ayant commencé le chauffage à 8 heures du matin, le dégagement *graduel* et *sensible* du gaz a cessé vers 1 heure de l'après-dîner; toutefois, j'ai maintenu la température constante jusqu'à 4 heures du soir, en laissant fonctionner constamment la pompe de Sprengel. Après avoir récolté et mesuré le gaz dégagé, j'ai abandonné l'appareil au refroidissement.

Le lendemain, j'ai extrait la nacelle avec l'argent du tube de porcelaine et, après en avoir déterminé soigneusement le poids, je l'y ai replacé. Ayant fermé de nouveau l'appareil, j'y ai fait le vide et j'ai porté ensuite au *rouge sombre* l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine, et l'on a entretenu cette température pendant six heures.

En faisant fonctionner d'heure en heure la pompe à mercure, et d'une manière continue la pompe de Sprengel, il m'a été impossible de récolter ainsi un volume mesurable de gaz, preuve évidente qu'à la température de l'ébullition du soufre, l'argent abandonne dans le vide tout son contenu en gaz.

Après le refroidissement, j'ai procédé à l'extraction de la nacelle avec l'argent, et à sa pesée.

Avant de faire connaître toutes les données numériques auxquelles je suis

Digitized by Google

arrivé, je dois dire un mot des observations que j'ai faites en soumettant à l'analyse prismatique le courant dans le tube de Geissler et dans le tube à boule contenant de l'air ou du gaz extrait de l'argent, l'un et l'autre à tension variable. Soit que j'aie opéré sur l'*air* ou sur le *gaz* extrait de l'argent, j'ai remarqué que les indications données par l'analyse prismatique du courant observé dans la partie rétrécie du tube de Geissler ou par l'analyse prismatique de l'étincelle ou de la décharge entre les fils de platine soudés à la boule ont été constamment différentes.

En effectuant l'analyse prismatique de l'air raréfié dans le tube de Geissler, j'ai constaté, outre les raies atmosphériques, l'apparition des raies de l'hydrogène ainsi que des raies du carbone; l'analyse prismatique de l'étincelle, éclatant entre les fils de platine soudés dans les parois de la boule, m'a fait voir des raies atmosphériques et des raies du spectre du carbone. Les raies de l'hydrogène faisaient complètement défaut.

Ayant privé complètement d'humidité et d'anhydride carbonique l'air introduit dans le système, la présence de l'hydrogène et du carbone n'est explicable qu'en admettant que l'huile adhérente aux robinets se volatilise dans le vide. J'ai recherché si cette hypothèse est exacte. A cet effet, j'ai pris deux tubes de Geissler, l'un sans robinets et l'autre muni de deux robinets enduits d'huile, comme celui adapté au système d'appareil. Ayant introduit, dans les deux, de l'air purifié et séché de la même manière et ayant ramené, à l'aide d'une pompe de Sprengel, l'air à la même tension, M. Rommelaere et moi nous avons reconnu dans l'un des spectres des raies atmosphériques à bandes ou à traits déliés et brillants, et dans l'autre les mêmes raies auxquelles s'étaient ajoutées les raies de l'hydrogène et les raies-bandes du carbone. L'huile adhérente aux robinets de verre se répand donc à l'état de vapeur dans le vide, comme le fait se présente dans le vide pneumatique, ainsi que je l'ai constaté, et ainsi que l'a observé M. Debray pour certains mastics renfermant des substances volatilisables à basse température. Les indications que j'avais cru pouvoir déduire de l'analyse prismatique des gaz, au fur et à mesure de leur mise en liberté, perdent, de cette manière, singulièrement de leur valeur. J'en dirai autant de la composition des gaz extraits de l'argent dans des conditions analogues.

En me conformant, autant que possible, aux dispositions décrites ci-dessus, j'ai obtenu les résultats suivants.

Des résultats constatés.

A. — *Expériences exécutées dans un tube de verre réfractaire.*

I. L'argent mis en expérience avait été traité, au rouge sombre, à l'hydroxyde de sodium, puis fondu au dard aérhydrique et maintenu en fusion jusqu'à disparition complète du spectre sodique. Après avoir été refroidi légèrement dans le dard rendu réducteur, il a été versé dans l'eau pour le grenailler.

a. Poids de la nacelle de porcelaine chauffée préalablement au *rouge vif* et refroidie à l'air sec.	gr. 40,917.50
b. Poids de la nacelle et de l'argent en grenaille, chauffés dans un moufle, au rouge sombre	163,804.50
c. Poids de la grenaille	122,887.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent après avoir été maintenus dans le vide, pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	163,793.80
e. Poids de la grenaille	122,876.30
f. Volume à 0° et à $0^m,760$ du gaz récolté.	$3^{cm^3},28$
Un kilogramme de grenaille contient	$26^{cm^3},60$

de gaz formé :

a. D'après l'analyse prismatique dans le tube de Geissler, d'azote, d'oxygène, d'hydrogène et de carbone ;

b. D'après l'analyse prismatique d'une forte étincelle dans la boule, d'oxygène, d'azote et de carbone ;

c. D'après l'analyse chimique :

D'anhydride carbonique	2,4
D'oxygène	91,3
D'azote	6,1
	99,8

Digitized by Google

Les $3^{cm^3},28$ pèsent $0^{gr},004.36$, et *1 kilogramme* contient $0^{gr},035.37$ de gaz.

Pendant l'extraction du gaz, il s'est volatilisé $0^{gr},006.34$ de métal, soit $0^{gr},051.60$ par kilogramme d'argent.

II. L'argent mis en expérience est une partie du même métal ayant servi à l'essai précédent, mais qui avait été maintenu pendant cinq heures au rouge sombre, dans un courant d'hydrogène sec et refroidi dans le courant. Après avoir introduit la nacelle avec le métal dans le tube de verre, on a fait le vide dans tout le système et l'on a remplacé le gaz extrait, à deux reprises, par de l'hydrogène pur et sec :

a. Poids de la nacelle de porcelaine	gr. 40,917.00
b. Poids de la nacelle et de la grenaille d'argent préalablement chauffées au rouge sombre, dans un courant d'hydrogène sec.	177,491.00
c. Poids de l'argent	136,574.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant huit heures dans le vide, entre le rouge naissant et le rouge sombre	177,485.00
e. Poids de l'argent	136,568.00
f. Volume à 0° et $0^m,760$ du gaz récolté	$0^{cm^3},70$
Un kilogramme d'argent fournit	$5^{cm^3},10$

de gaz ; il contient donc $0^{gr},000.45$ d'hydrogène.

Pendant l'extraction du gaz, il s'est volatilisé $0^{gr},006.00$ de métal, soit $0^{gr},044$ par kilogramme d'argent.

III. L'argent employé provenait de la réduction du chlorure d'argent pur par l'hydroxyde de potassium et le sucre de lait. Il était à l'état de barreaux découpés dans une latte du poids de 2875 grammes. Les barreaux avaient été soumis successivement à l'action de l'*hydrogène* et de l'*air*, à la température rouge sombre.

a. Poids de la nacelle de porcelaine	gr. 40,917.00
b. Poids de la nacelle et des trois barreaux d'argent . .	196,382.50

Digitized by Google

c. Poids de l'argent. 155gr.,465.50

d. Poids de la nacelle et de l'argent chauffés pendant huit heures dans le vide, entre le rouge naissant et le rouge sombre 196,375.00

e. Poids de l'argent 155,458.00

f. Volume à 0° et à 0m,760 du gaz récolté. 1cm3,20

Un kilogramme de métal fournit donc. 7cm3,70

de gaz qui, à l'analyse prismatique dans le tube de Geissler, a donné le spectre de l'oxygène, de l'azote, de l'hydrogène et du carbone, et, dans le tube à boule, le spectre de l'oxygène, de l'azote et du carbone.

Un kilogramme contient 0gr,010.40 de gaz.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé 0gr,006.30 de métal, soit 0gr,040 par kilogramme d'argent.

Ayant constaté que dans les trois expériences décrites ci-dessus, l'argent soumis au vide a perdu de sa masse une quantité dépassant le poids du gaz récolté, j'ai recherché la cause de cette différence. Ayant soupçonné la volatilisation du métal dans le vide à la température rouge sombre, j'ai maintenu pendant une demi-heure, dans l'acide azotique dilué et bouillant, la feuille de platine garnissant complètement le tube de verre réfractaire dans lequel j'avais introduit la nacelle avec l'argent. Si mon hypothèse était exacte, l'argent réduit en vapeur a dû se déposer sur les parties froides de la feuille ou s'allier superficiellement au platine. L'évaporation de l'acide m'a permis, en effet, de reconnaître dans le résidu la présence de l'argent. Craignant l'existence de l'argent dans la feuille de platine employée, j'ai eu soin de contrôler ma recherche en faisant fondre, sur le revers de la feuille de platine, un mélange de bisulfate de potassium et de bisulfate anhydre de sodium, qui, au rouge sombre, dissout avec une facilité extrême l'argent allié au platine. J'ai constaté ainsi, tant par l'acide bromhydrique décime que par l'acide sulfhydrique, l'absence complète de l'argent dans le platine employé.

Il est donc hors de doute que de l'argent s'est réduit en vapeur pendant l'extraction des gaz, la température ayant dépassé le degré auquel ce métal est fixe dans le vide.

Digitized by Google

B. — *Expériences exécutées dans un tube de porcelaine vernie intérieurement et extérieurement, et imperméable aux gaz.*

IV. L'argent mis en expérience était en *grains*. Il avait été obtenu par la réaction d'une solution d'hydroxyde de sodium en ébullition dans un vase d'argent sur une solution d'azotate d'argent pur saturée de saccharose. L'argent fondu a été versé d'une hauteur convenable dans de l'eau, pour le transformer en *grains*. (Voir au 3° de la Notice n° XII.)

a. Poids de la nacelle de porcelaine.	gr. 40,917.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent en *grains* préalablement chauffés au rouge sombre, dans un moufle, et refroidis à l'air sec	183,562.00
c. Poids de l'argent	142,645.00
d. Poids de la nacelle et des grains, après avoir été chauffés dans le tube de porcelaine, pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre dans le vide	183,554.00
e. Poids des grains	142,637.00
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ du gaz récolté.	$2^{cm^3},80$
Un kilogramme fournit	$19^{cm^3},80$

de gaz formé :

a. D'après l'analyse prismatique du courant électrique dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone;

b. D'après l'analyse prismatique d'une forte étincelle, d'oxygène, d'azote et de carbone;

c. D'après l'analyse chimique :

D'anhydride carbonique.	1,5
D'oxygène	95,4
D'azote	3,9
	100,8

D'après cette composition, les $2^{cm^3},80$ pèsent $0^{gr},0039$. Un kilogramme contient $0^{gr},0277$ de gaz. Pendant l'extraction des gaz, il s'est volatilisé $0^{gr},0041$ de métal, soit $0^{gr},0289$ par kilogramme d'argent.

Digitized by Google

V. L'argent était sous forme de *petits blocs*. C'était une partie du *métal* qui a servi aux synthèses du *bromure*, de l'*iodure* et de l'*azotate* d'argent, et aux déterminations du rapport proportionnel entre l'argent, les *chlorures et bromures* de potassium et de sodium, consignées respectivement dans mes *Nouvelles recherches sur les lois de proportions chimiques* et dans mes mémoires *Sur la détermination du rapport proportionnel entre l'argent, les chlorures et les bromures*.

L'argent avait été successivement chauffé dans le dard aérhydrique et dans l'air.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	40,917.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent en *petits blocs* préalablement chauffés au rouge sombre, dans un moufle. . .	246,841.50
c. Poids de l'argent	205,924.50
d. Poids de la nacelle et de l'argent chauffés dans le vide, pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	246,834.80
e. Poids de l'argent	205,917.80
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ de gaz récolté.	$3^{cm^3},40$
Un kilogramme d'argent fournit	$16^{cm^3},50$

de gaz formé :

a. D'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone;

b. D'après l'analyse chimique :

D'anhydride carbonique	1,4
D'oxygène	95,7
D'azote	4,0
	101,1

D'après cette composition, les $3^{cm^3},40$ pèsent $0^{gr},0047$, et 1 kilogramme d'argent contient $0^{gr},0231$ de gaz.

Pendant l'extraction du gaz, il s'est volatilisé $0^{gr},002$ de métal, soit $0^{gr},0145$ par kilogramme d'argent.

Digitized by Google

VI. L'argent était sous la forme de *culots;* ceux-ci provenaient de la refonte, au dard aérhydrique, dans une coupelle de phosphate basique de calcium pur, de barreaux détachés de la même latte que les petits blocs ayant servi à l'essai précédent. On avait laissé l'argent fondu se refroidir lentement dans le dard aérhydrique rendu réducteur.

a. Poids de la nacelle de porcelaine	gr. 40,917.00
b. Poids de la nacelle et des culots d'argent préalablement rougis dans un moufle et refroidis à l'air sec . . .	307,443.00
c. Poids des culots.	266,526.00
d. Poids de la nacelle et des culots d'argent soumis dans le vide, pendant *neuf* heures, à une température comprise entre le rouge naissant et le rouge sombre.	307,424.00
e. Poids de l'argent	266,507.00
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ du gaz récolté.	$5^{cm^3},10$
Un kilogramme fournit	$19^{cm^3},10$

de gaz composé :

a. D'après l'analyse prismatique, faite sur le courant dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone;

b. D'après l'analyse chimique :

D'anhydride carbonique	1,4
D'oxygène	95,7
D'azote	4,0
	101,1

D'après cette composition, les $5^{cm^3},1$ pèsent $0^{gr},007.30$, et 1 kilogramme contient $27^{mgr},30$ de gaz.

Pendant l'extraction des gaz, il s'est volatilisé $0^{gr},011.70$ de métal, soit 44 milligrammes par kilogramme d'argent.

VII. L'argent était sous la forme de *culots ;* ces culots avaient été chauffés successivement dans l'hydrogène, dans l'air, et une dernière fois dans l'hydrogène, et refroidis dans un courant de ce gaz sec. C'étaient les trois culots

Digitized by Google

qui avaient servi à l'expérience n° VIII de la Notice n° X; ils avaient été soumis une seconde fois à l'hydrogène pour enlever l'oxygène qui avait pénétré le métal, lorsqu'il a été porté au rouge sombre dans le moufle garni de platine.

a. Poids de la nacelle de porcelaine.	gr. 40,917.00
b. Poids de la nacelle et des trois culots chauffés au rouge naissant, dans l'hydrogène, et refroidis dans le courant de ce gaz	160,231.00
c. Poids des culots.	121,314.00
d. Poids de la nacelle et des trois culots soumis dans le vide, pendant *huit* heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	162,227.00
e. Poids des culots.	121,310.00
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ du gaz récolté	$0^{cm^3},65$
Un kilogramme d'argent fournit	$5^{cm^3},40$

de gaz formé, d'après l'analyse prismatique exécutée sur le courant dans le tube de Geissler, d'hydrogène et de carbone.

Un kilogramme d'argent renferme $0^{mgr},450$ d'hydrogène.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé $0^{gr},004.00$ de métal, soit 33 milligrammes par kilogramme d'argent.

VIII. L'argent était sous la forme de lingot. Le métal avait été fondu dans un courant d'hydrogène et refroidi dans le courant. (Voir pour le traitement auquel j'ai soumis ce lingot, au 2° de la Notice n° XI.)

a. Poids de la nacelle de porcelaine.	gr. 42,835.00
b. Poids de la nacelle et du lingot.	294,237.00
c. Poids du lingot	251,402.00
d. Poids de la nacelle et du lingot d'argent maintenus dans le vide, pendant *huit* heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	294,223.00
e. Poids du lingot	251,388.00
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ du gaz récolté. . . .	$0^{cm^3},75$

Digitized by Google

Un kilogramme d'argent fournit $3^{cm^3},00$ de gaz composé, d'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'hydrogène et de carbone.

Un kilogramme d'argent contient $0^{mg},26$ de gaz.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé $0^{gr},014$ de métal, soit 55 milligrammes par kilogramme d'argent.

IX. L'argent était en *lames* de demi à deux tiers de millimètre d'épaisseur. Les lames avaient servi à l'expérience n° III de la notice n° X, c'est-à-dire qu'elles avaient été chauffées successivement au *rouge sombre* dans une atmosphère renouvelée d'hydrogène, puis dans l'air d'un moufle garni de platine.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	42,834.00
b. Poids de la nacelle et des lames d'argent chauffées au rouge sombre et refroidis à l'air sec.	130,457.70
c. Poids des lames	87,623.70
d. Poids de la nacelle et des lames chauffées dans le vide, pendant *huit* heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	130,453.50
e. Poids des lames.	87,619.00
f. Volume à 0° et à $0^m,760$ du gaz récolté	$0^{cm^3},68$
Un kilogramme de lames fournit	$7^{cm^3},80$

de gaz formé, d'après l'analyse prismatique effectuée sur le courant dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone.

Un kilogramme d'argent contient $10^{mg},90$ de gaz.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé $0^{gr},004.70$ de métal, soit 54 milligrammes par kilogramme d'argent.

X. L'argent était sous la forme de *barreaux* qui avaient servi à l'expérience n° VI de la notice X; les barreaux avaient donc subi, au rouge sombre, successivement, l'action de l'hydrogène et de l'air. Le métal était

Digitized by Google

une partie de celui employé aux synthèses du bromure, de l'iodure et de l'azotate d'argent.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	42,834.00
b. Poids de la nacelle et des trois barreaux d'argent chauffés au rouge naissant et refroidis à l'air sec	149,432.00
c. Poids des barreaux.	106,598.00
d. Poids de la nacelle et des barreaux chauffés dans le vide, pendant *huit* heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	149,426.00
e. Poids des barreaux.	106,592.00
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ du gaz récolté	$0^{cm^3},95$
Un kilogramme d'argent fournit	$8^{cm^3},91$

de gaz formé, d'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone.

Un kilogramme d'argent contient $12^{mg},02$ de gaz.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé $0^{gr},006$ de métal, soit 56 milligrammes par kilogramme d'argent.

XI. L'argent employé était en *tournures fines;* celles-ci provenaient du culot tronconique d'argent du poids de 870 grammes, dont la préparation et le traitement ont été décrits pages 35 et suivantes. Les tournures, après avoir été chauffées au rouge, avaient été comprimées entre des lames d'argent pur.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine	42,834.00
b. Poids de la nacelle et des tournures chauffées au rouge sombre et refroidies à l'air sec	140,650.40
c. Poids des tournures	97,816.40
d. Poids de la nacelle et des tournures chauffées dans le vide, pendant *huit* heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	140,646.30
e. Poids des tournures	98,812.30
f. Volume à 0° et à $0^{m},760$ du gaz récolté	$1^{cm^3},85$

Digitized by Google

Un kilogramme fournit 18$^{cm^3}$,90 de gaz formé, d'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone.

En admettant que le gaz soit de l'oxygène, ou du moins qu'il ait sa densité, le poids de 1$^{cm^3}$,85 est 0^{gr},0026; un kilogramme de métal fournit 26^{mg},98 de gaz.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé 0^{gr},0015 de métal, soit 15^{mg},3 par kilogramme d'argent.

XII. L'argent employé était en *tournures*. Ces tournures avaient servi à l'expérience n° IX de la notice n° X. Elles avaient été soumises, successivement, au rouge sombre, à l'action de l'hydrogène, de l'air, et, enfin, de l'hydrogène seul.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	42,834.00
b. Poids de la nacelle et des tournures chauffées au rouge sombre dans l'hydrogène.	178,098.00
c. Poids des tournures	135,264.00
d. Poids de la nacelle et des tournures chauffées dans le vide, pendant *huit* heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre	178,092.00
e. Poids des tournures	135,258.00
f. Volume à 0° et à 0^{m},760 du gaz récolté	0$^{cm^3}$,78
Un kilogramme fournit	5$^{cm^3}$,80

de gaz formé, d'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'hydrogène, d'azote et de carbone.

Un kilogramme fournit 0^{mg},51 de gaz.

Pendant l'extraction du gaz il s'est volatilisé 0^{gr},006 de métal, soit 44 milligrammes par kilogramme d'argent.

Digitized by Google

C. — *Expériences faites dans un tube de porcelaine vernie intérieurement et extérieurement pour s'assurer si l'argent abandonne, entre le rouge naissant et le rouge sombre, tous les gaz qu'il renferme.*

XIII. L'argent mis en expérience était à l'état de *barreaux* qui provenaient de la latte du poids de 1500 grammes dont j'ai décrit la préparation et le traitement au 4° de la notice n° XII.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	42,833.00
b. Poids de la nacelle et des barreaux d'argent chauffés au rouge sombre et refroidis à l'air sec.	272,240.00
c. Poids des barreaux d'argent	229,407.00

d. La nacelle et les barreaux ont été chauffés dans le vide, pendant huit heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre. Au bout de ce temps le volume du gaz récolté était de $4^{cm^3},6$ réduit à 0° et à $0^{m},760$.

Un kilogramme d'argent fournit $20^{cm^3},05$ de gaz formé :

a. D'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'oxygène, d'azote, d'hydrogène et de carbone ;

b. D'après l'analyse chimique :

D'anhydride carbonique	2,40
D'oxygène.	87,22
D'azote.	11,00
	100,62

D'après la composition du gaz, les $4^{cm^3},6$ pèsent $0^{gr},0066$, et un kilogramme contient $27^{mg},6$ de gaz.

e. L'appareil a été abandonné au refroidissement, et le lendemain l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine fut porté au *rouge vif* et maintenu quatre heures à ce degré de chaleur. Pendant ce temps la pompe de Sprengel n'a pas cessé de fonctionner sans fournir un volume mesurable de gaz. En faisant agir, pendant *vingt-cinq minutes*, la pompe à mercure, on n'a pu recueillir la moindre bulle gazeuse.

Digitized by Google

f. On a élevé l'espace compris entre le moufle tubulaire et le tube de porcelaine au *rouge clair,* température à laquelle le tube avait une tendance à se déformer sous la pression extérieure, et l'on a maintenu ce degré de chaleur encore pendant quatre heures, sans recueillir, soit à la pompe de Sprengel, soit à la pompe à mercure, un volume mesurable de gaz. A la vérité, les colonnes interrompues de mercure de la pompe de Sprengel ne tombaient pas, comme elles le font dans le vide, c'est-à-dire en donnant un *coup sec* et en rejoignant la colonne de mercure soulevée, mais le volume de gaz entraîné était si infiniment petit, qu'au lieu de descendre avec le mercure, il restait attaché à la paroi du tube.

Après le refroidissement du fourneau tubulaire, ayant retiré la nacelle avec l'argent du tube de porcelaine, j'ai constaté que les barreaux adhéraient fortement les uns aux autres, et, par leurs points de contact avec la nacelle, au vernis de celle-ci.

Les barreaux d'argent étaient d'un blanc mat.

Le poids de la nacelle et des barreaux était de 272gr,186, d'où il résulte une perte de poids due à la volatilisation de l'argent dans le vide de 0gr,054, soit une perte de $\frac{1}{4250}$ ou 235 milligrammes par kilogramme d'argent.

XIV. L'argent mis en expérience était en barreaux qui provenaient de la latte de 1500 grammes décrite au 4° de la notice n° XII. Avant de m'en servir, j'avais soumis le métal, pendant une heure, au rouge sombre dans un courant d'hydrogène pur et sec, et j'avais laissé le métal se refroidir dans le courant.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	39,893.00
b. Poids de la nacelle et des barreaux traités à l'hydrogène pur et sec	258,567.00
c. Poids des barreaux.	218,674.00

d. Après avoir rempli, à deux reprises, tout le système d'appareil, d'hydrogène, et avoir fait le vide autant que possible, on a porté le tube de porcelaine au rouge sombre, et on l'a maintenu à ce degré de chaleur pendant huit heures. Au bout de ce temps le volume de gaz extrait par le

Digitized by Google

fonctionnement de la pompe de Sprengel et de la pompe à mercure a été $1^{cm^3},25$, réduit à 0^o et à $0^m,760$.

Un kilogramme d'argent fournit donc $5^{cm^3},60$ de gaz formé, d'après l'analyse prismatique du courant dans le tube de Geissler, d'hydrogène et de carbone.

Un kilogramme contient $0^{mg},49$ de gaz.

e. Le lendemain le tube de porcelaine fut porté au *rouge vif,* pendant quatre heures, et ensuite au *rouge clair,* pendant les quatre heures suivantes. Pendant ces huit heures la pompe de Sprengel n'a pas cessé de fonctionner, et l'on a fait agir la pompe à mercure successivement après la quatrième et après la huitième heure, sans récolter un volume mesurable de gaz.

f. Le surlendemain, après le refroidissement du fourneau, la nacelle et l'argent ayant été retirés du tube de porcelaine, j'ai constaté, comme dans l'expérience précédente, que les barreaux adhéraient fortement les uns aux autres et, par leurs points de contact avec la nacelle, ils adhéraient au vernis de celle-ci.

	gr.
Le poids de la nacelle et des barreaux était	258,518.00
l'argent avait donc perdu.	0,049.00

soit $\frac{1}{4462}$ de son poids et 224 milligrammes par kilogramme de métal.

Ayant examiné, après la fin de ces expériences, l'intérieur de la feuille de platine tournée en tube, j'ai reconnu à sa surface des globules d'argent visibles à l'œil nu. J'ai traité à chaud la feuille de platine à l'acide azotique dilué, et après la dissolution de l'argent adhérent, j'ai constaté que sa surface était couverte de petits points d'un gris bleuâtre. L'argent s'était donc allié en ces points au platine.

Digitized by Google

D. — *Expérience faite dans un tube de porcelaine vernie intérieurement et extérieurement, pour s'assurer si l'argent abandonne, au point de l'ébullition du soufre, tous les gaz qu'il renferme, sans éprouver d'autre perte de poids que celle due au poids du gaz dégagé.*

XV. L'argent employé était à l'état de barreaux qui provenaient de la latte de 1500 grammes dont la préparation et le traitement ont été décrits au 4° de la notice n° XII et dont des parties ont servi aux expériences n° XIII et XIV de la présente notice.

	gr.
1° *a*. Poids de la nacelle de porcelaine.	41,521.50
b. Poids de la nacelle et de quatre barreaux d'argent chauffés au rouge sombre et refroidis à l'air sec	294,019.00
c. Poids des barreaux.	252,497.50
d. Poids de la nacelle et des quatre barreaux soumis dans le vide, pendant *huit heures,* au point de l'ébullition du soufre et refroidis dans le vide	294,011.20
e. Poids des barreaux.	252,489.80
f. Perte de poids des barreaux	0,007.70
g. Volume du gaz récolté réduit à 0° et $0^m,760$ . . .	$5^{cm^3},20$
Un kilogramme d'argent fournit	$20^{cm^3},63$

de gaz composé

D'anhydride carbonique	1,95
D'oxygène	88,80
D'azote	9,17
	99,92

D'après cette composition, les $5^{cm^3},2$ de gaz pèsent $0^{gr},007.46$; l'expérience a donné $0^{gr},007.70$.

Un kilogramme d'argent contient 0,029.60 de gaz;

Digitized by Google

2° La nacelle et les quatre barreaux d'argent ont été introduits de nouveau dans le tube de porcelaine, et après avoir fait, dans celui-ci, le vide autant que possible, ils ont été chauffés pendant *huit heures* entre le rouge naissant et le rouge sombre. Pendant ces huit heures la pompe de Sprengel a continuellement fonctionné, et avant de laisser abaisser la température, j'ai fait fonctionner la pompe à mercure pendant *une demi-heure. Le volume de gaz extrait par les deux pompes n'a pas été mesurable. L'argent avait donc abandonné, à la température de l'ébullition du soufre, tous les gaz qu'il contenait.*

a. Après le refroidissement, le poids de la nacelle et des quatre barreaux d'argent était . . . . gr 294,001.80

NUMÉROS D'ORDRE.	ÉTAT. A Argent ancien. — N Argent nouveau.	POIDS DU MÉTAL soumis au vide.	POIDS DU MÉTAL après avoir été soumis au vide.
		A. — Expériences exécutées dans un tube	
I	N Grenailles	gr. 122,887.00	gr. 122,876.30
II.	N Grenailles	136,574.00	136,568.00
III	N Barreaux	155,465 50	155,458 00
		B — Expériences exécutées dans u	
IV	N Grains	142,645.00	142,636.00
V.	A Petits blocs	205.924.50	205,917.80
VI	A Culots	266,526,00	266,507.00
VII	N Culots	121,314.00	121,310.00
VIII	N Lingot	251,402.00	251,388 00
IX	A Lames	87,623.70	87,619.00
X.	A Barreaux.	106,598.00	106,592 00
XI	N Tournures	97,816.40	97,812 30
XII	N Tournures	135,264.00	135,258 00
	C. — Expériences exécutées dans un tube de porcelaine, succes		
XIII	N Barreaux	229,407.00	229,353.00
XIV	N Barreaux	218.674,00	218,625.00
		D. — Expérience exécutée successivement au point	
XV. 1°	N Barreaux	252,497.50	252,489.80
XV. 2°	N Barreaux	252,489.80	252,480.30

Digitized by Google

	gr.
b. Le poids de la nacelle était	41,521.50
c. Le poids des quatre barreaux était	252,480.30
d. La perte de poids par volatilisation de l'argent est de.	0,009.50

Chauffé dans le vide entre le rouge naissant et le rouge sombre, l'argent privé de gaz a donc perdu dans l'espace de huit heures 37,6 milligrammes par kilogramme.

Le tableau suivant résume les données numériques consignées dans les quinze expériences détaillées ci-dessus.

OLUME DU GAZ à 0° et 0m,760 *centimètres cubes.*	VOLUME DU GAZ par kilogramme de métal en *centimètres cubes.*	POIDS DU GAZ par kilogramme de métal en *milligrammes.*	POIDS DU GAZ récolté en milligrammes.	POIDS DE L'ARGENT volatilisé en milligrammes.	POIDS DE L'ARGENT volatilisé par kilogramme en milligrammes.
verre réfractaire au rouge sombre.					
3,28	26,60	33,37	4,360	6,34	51,60
0,70	5,10	0,45	0,062	6,00	44,00
1.20	7,70	10,40	1,360	6,30	40,00
e de porcelaine au rouge sombre.					
2,80	19,80	27,70	3,900	4,10	28,90
3.40	16,50	23,10	4,700	2,00	14,50
5,10	19,10	23,10	7,300	11,70	44,00
0,65	5.40	0,45	0,058	4,00	33,00
0,75	3,00	0,26	0,066	14,00	55,00
0,68	7.80	10,90	0,877	4,70	54,00
0,95	8,91	12,02	1,220	6,00	56,00
1.85	18,80	26,98	2,600	1,50	15,30
0,78	5,80	0,51	0,069	6,00	44,00
ment au rouge sombre, au rouge vif et au rouge clair.					
4,60	20,05	27,06	6,600	54,00	235 00
1,25	5,60	0,49	0,112	49,00	224.00
ullition du soufre et au rouge sombre.					
5,20	20.63	29,60	7,700	0,00	0,00
0.00	0,00	0,00	0,000	9,50	37,60

Digitized by Google

Les résultats inscrits dans le tableau ci-dessus se rapportent à l'argent dans trois conditions distinctes :

A. 1° A l'état de culot provenant : *a*. de la fonte du métal sous un flux; *b*. au dard aérhydrique rendu réducteur;

2° A l'état de barreau coulé;

3° A l'état de grenailles ou de grains coulés dans l'eau;

4° A l'état de tournures de culot.

B. Sous les quatre états de *A* traité, au rouge sombre, à l'hydrogène.

C. Sous les quatre états de *A* traité, au rouge sombre, successivement à l'hydrogène et à l'air.

Quel que soit son état actuel, l'argent, chauffé dans le vide entre le rouge naissant et le rouge sombre, perd tous les gaz qu'il renferme. Une partie très minime du métal se volatilise en même temps, de sorte que dans cette condition de température la perte de poids éprouvée par l'argent se compose à la fois du poids du gaz éliminé et du poids du métal réduit en vapeur. La perte de l'argent par volatilisation s'élève en moyenne à 40 milligrammes par kilogramme de métal. *L'argent est donc volatil dans le vide à la température à laquelle il est fixe à la pression ordinaire de l'atmosphère.*

Au point de l'ébullition du soufre, l'argent abandonne complètement les gaz qu'il renferme, pourvu que le métal soit maintenu à cette température pendant au moins six heures. Dans ce cas la diminution du poids de l'argent est due exclusivement au poids du gaz éliminé. *L'argent est donc fixe dans le vide à la température de 440 à 450°.*

En rangeant dans une même catégorie le métal sous chacune de ces trois conditions, on arrive, pour le contenu en gaz, aux résultats suivants :

Un kilogramme d'argent fournit :

A. — *Métal brut de fonte.*

Nos d'ordre du tableau.				
I . . N.	A l'état	de grenailles	gr. 0,035.37	de gaz.
IV . . N.	—	de grains	0,027.70	—
V . . A.	—	de petits blocs	0,023.10	—
VI . . A.	—	de culots	0,027.30	—
XI . . N.	—	de tournures	0,025.38	—
XIII . N.	—	de barreaux	0,027.06	—
XV. . N.	—	de barreaux	0,029.60	—
		En moyenne. . .	0,027.93	de gaz

B. — *Métal traité à l'hydrogène.*

Nos d'ordre du tableau.			gr
II . . N.	A l'état de grenailles	0,000.45	de gaz.
VII. . A.	— de culots	0,000.45	—
VIII . N.	— de lingot	0,000.26	—
XII . N.	— de tournures	0,000.51	—
XIII . N.	— de barreaux	0,000.49	—
	En moyenne. . .	0,000,43	de gaz.

C. — *Métal traité à l'hydrogène et ensuite à l'air.*

III. . N.	A l'état de barreaux	0,010.40	de gaz.
IX . . A.	— de lames	0,010.90	—
X . . A.	— de barreaux	0,012.02	—
	En moyenne. . .	0,011.10	de gaz.

Ainsi l'argent, sous les différents états désignés ci-dessus, maintenu pendant huit heures dans le vide, à une température comprise entre le rouge naissant et le rouge sombre, abandonne, en moyenne, 0gr,027.93 de gaz par 1000 grammes de métal; après avoir été traité au rouge sombre par l'hydrogène, soumis au vide à la même température, il fournit, en moyenne, 0gr,000.43 de gaz par 1000 grammes de métal; enfin, après avoir subi successivement, au rouge sombre, l'action de l'hydrogène et de l'air, exposé dans le vide à la même température, il abandonne, en moyenne, 0gr,011.10 de gaz par 1000 grammes de métal.

Pour l'argent soumis à l'expérience, ces quantités doivent être considérées comme des maxima, par le motif que, par suite de la capacité considérable des tubes de verre, ou de porcelaine, auxquels j'ai dû avoir recours pour exécuter les expériences, il m'a été impossible d'y faire complètement le vide, tant à froid qu'à chaud. La tension du gaz étant plus forte au rouge sombre, j'ai donc extrait, dans ce cas, un volume plus considérable de gaz que lorsque j'ai opéré à la température ordinaire.

Les variations dans les résultats sont notables : elles s'élèvent au quart de la quantité constatée. Ces variations proviennent de la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, qui existe de réaliser, dans la fonte et la coulée de l'argent,

Digitized by Google

les mêmes conditions de température, et d'obtenir, par suite, une homogénéité physique complète du barreau ou du culot. On constate, en effet, ainsi que je l'ai exposé un grand nombre de fois, que dans un culot, un bloc, un lingot, certaines parties sont *absolument* privées de bulles, tandis que d'autres parties en contiennent sensiblement. Mais, quoi qu'il en soit de ces variations, les résultats fournis par le traitement de l'argent par l'hydrogène et les résultats obtenus par l'exposition du métal au vide, concordent aussi bien que des faits de cette nature peuvent coïncider.

Les conséquences qui découlent de ces recherches si longues et si laborieuses, sont que :

1° L'argent qui m'a servi pour la détermination des poids atomiques renfermait des gaz, et qu'il en est de même du métal obtenu dans des conditions identiques;

2° Le contenu en gaz de ces métaux s'élève à $\frac{1}{35800}$ du poids de l'argent, et que cette quantité ne peut avoir eu aucune influence sur les conclusions que j'ai déduites de mes travaux, puisque l'erreur qui en résulte se confond absolument avec l'erreur inévitable dans les expériences de cette nature;

3° Pour éliminer les gaz contenus dans l'argent, il n'est pas nécessaire, ainsi que l'a proposé mon illustre maître Dumas, d'exposer ce métal au rouge sombre dans le vide; il suffit d'un traitement convenable à l'hydrogène pour atteindre le résultat désiré ;

4° Enfin on peut, au besoin, *rougir en présence de l'air* l'argent chauffé dans l'hydrogène, sans lui faire absorber des gaz en quantité capable d'altérer sensiblement sa masse, cette quantité ne s'élevant qu'au $\frac{1}{100,000}$ du poids du métal ainsi traité.

Pour terminer l'étude de l'argent, il reste à rechercher le poids spécifique de ce métal sous les différents états et conditions exposés ci-dessus, afin de résoudre, à l'aide de cette donnée, la question de savoir si ce métal contient des gaz dans un état autre que celui de bulles [1].

[1] Toutes les recherches exposées ci-dessus ont été exécutées au laboratoire de chimie du *Musée de l'Industrie* à Bruxelles, avec le concours de M. Rommelaere. J'ai été forcé d'interrompre ces études; quoique les motifs de cette interruption n'intéressent pas la science, je dois néanmoins les faire connaître pour expliquer, d'une part, le retard qu'a subi

Digitized by Google

XIV. — Du poids spécifique de l'argent de provenances différentes et sous divers états et conditions, en collaboration de M. le professeur Depaire.

I. *De la mise en état de l'argent ayant partiellement échappé aux conséquences de l'incendie du Palais du Midi.* — Dans la note jointe à la notice précédente, il est dit que tous les échantillons d'argent, *à quatre échantillons près*, qui avaient été chauffés soit dans l'hydrogène, soit dans le vide, ont été perdus ou altérés profondément dans l'incendie du *Palais du Midi*. La collection d'argent, *restant* des anciens travaux de l'un de nous et de son travail de revision décrit dans l'*Introduction* et dans les notices n°s I, II, III, IV, XI, XII, était renfermée d'une part dans une armoire vitrée, et d'autre part dans un meuble supportant une grande balance de précision. Lors de l'incendie, ces meubles ont été exposés à de la vapeur aqueuse contenant en solution ou en suspension des acides, des sels thioniques, calcareux et ferreux; en outre, ils ont été arrosés d'eau.

mon travail, et, d'autre part, l'obligation dans laquelle je me suis trouvé d'exposer de nouveau au vide l'argent nécessaire à la mesure du poids spécifique de ce métal et à la seconde série de déterminations de son rapport proportionnel avec le chlorure de potassium.

Je dirai d'abord que le mauvais état de santé de M. Rommelaere l'a empêché de me continuer le concours qu'il m'avait prêté jusque-là. J'ajouterai que le Gouvernement belge a supprimé au même moment le Musée de l'industrie. L'École industrielle ainsi que le laboratoire de chimie rattachés à ce musée ont été transférés au *Palais du Midi* et mis sous l'autorité de la ville de Bruxelles. L'autorité communale ayant mis gracieusement à ma disposition le laboratoire et les salles affectées à son service, on y avait transféré tous les produits ayant servi à mes travaux ainsi que beaucoup d'instruments et d'appareils m'appartenant. A peine le transfert opéré et avant la réorganisation du laboratoire, M. Rommelaere a succombé au mal qui le minait depuis plusieurs années. Pour surcroît de malheur, le feu a pris dans les combles du Palais du Midi, et l'incendie s'est communiqué, par l'effondrement des voûtes, au laboratoire de chimie et aux salles y affectées.

Dans l'incendie ont péri ou ont été altérés par des vapeurs acides ou mercurielles :

1° *A quatre échantillons près*, tout le métal argent qui avait été chauffé au rouge sombre, soit dans l'hydrogène, soit dans le vide, ainsi que le disque d'argent pur prélevé sur le culot tronconique décrit dans la notice III, page 28, et que j'avais réservés pour la mesure du poids spécifique et pour la détermination du rapport proportionnel entre l'argent de différentes provenances et le chlorure de potassium;

2° Les vases en argent pur ayant servi à tous mes travaux.

Sans exception aucune ont péri :

1° Les pompes à mercure; 2° les pompes de Sprengel; 3° le mercure nécessaire au fonc-

Digitized by Google

Notre premier soin a été de séparer les échantillons de métal mis absolument hors de service par leur chloruration et leur sulfuration de ceux dont la restauration était possible.

A une exception près (un culot d'argent pur fondu sous du chlorure de calcium du poids de 390 grammes environ), tous les échantillons qui n'étaient pas renfermés dans des flacons bouchés à l'émeri ont été perdus; ils étaient fortement colorés en brun foncé ou en noir, et couverts d'une *couche épaisse* de chlorure et de sulfure d'argent.

Les échantillons contenus dans des flacons bouchés à l'émeri avaient conservé leur brillant métallique; néanmoins, malgré cette fermeture, une faible quantité d'un liquide jaune, d'une forte odeur d'acide pyroligneux, avait pénétré dans les flacons. L'examen auquel nous avons soumis ce liquide nous a permis d'y reconnaître la présence des acides acétique et chlorhydrique et des chlorures et sulfates de sodium et de calcium.

Les échantillons d'argent susceptibles d'une restauration complète étaient à l'état : 1° de grenailles et de grains; 2° de barreaux ou de blocs de

tionnement de ces pompes; 4° les fourneaux à moufle tubulaire; 5° le magnifique matériel en porcelaine ayant servi à chauffer l'argent dans l'hydrogène et dans le vide; 6° la collection des composés de *lithium*, de *calcium*, de *strontium*, de *baryum*, de *thallium purs* décrits dans les notices spéciales relatives à mes *Études chimiques et spectroscopiques* de ces composés métalliques.

Deux collections qui avaient déjà été déposées dans des *meubles* ont *partiellement* échappé aux conséquences de l'incendie. Ce sont :

1° La collection du métal argent pur de *différentes provenances*, dont ont été prélevées des parties pour les soumettre, au rouge sombre, à l'action de l'hydrogène ou au vide;

2° *La moitié environ* du chlorure de potassium, du chlorate, du perchlorate et du chloroplatinate de potassium, décrits dans le travail consacré à ce sujet. Je dois cette conservation au fait qu'une partie de ces chlorures avait été enfermée dans un coffre-fort déposé dans la salle des balances de mon laboratoire particulier.

Je bornerai là cet exposé; il suffit pour faire comprendre la nécessité dans laquelle je me suis trouvé de chauffer du nouvel argent dans le vide et de faire subir un traitement aux échantillons de chlorures conservés dans des vases bouchés à l'émeri et placés dans des meubles, afin de pouvoir achever le travail que j'avais entrepris.

La reconstruction au Palais du Midi, des locaux incendiés, devant prendre du temps, j'ai pris le parti de reprendre le travail au laboratoire de l'École de pharmacie de l'Université de Bruxelles, où je l'ai terminé en collaboration de mon ami M. le professeur Depaire, recteur de cette université.

Digitized by Google

barreaux; 3° de culots; 4° pulvérulent, provenant de la réduction, à basse température, de solutions argentifères.

Nous avons procédé ainsi qu'il suit à la purification du métal souillé :

Chaque échantillon d'argent, introduit séparément dans une capsule de platine, a été lavé à l'eau distillée additionnée d'acide acétique pur, recueilli et conservé dans un récipient de platine. Ce traitement a été continué jusqu'à ce que l'eau acide de lavage ne soit plus troublée par l'addition d'une solution diluée d'azotate d'argent. Le métal a été maintenu ensuite dans de l'eau, acidulée par l'acide acétique, en ébullition dans un vase de platine et renouvelée tant qu'une partie de l'eau acide prélevée s'est troublée par la solution diluée d'azotate d'argent; ce qui s'est réalisé rapidement avec le métal à l'état de barreaux, de blocs et même de métal pulvérulent, et avec une lenteur extrême avec l'argent sous forme de grenailles, de grains et surtout de culots.

Afin de dissoudre le chlorure d'argent pouvant adhérer au métal, chaque échantillon a été mis en digestion pendant vingt-quatre heures dans une solution concentrée d'ammoniaque contenue dans un vase de platine couvert. Après ce traitement, le métal a été lavé d'abord à l'eau ammoniacale, ensuite à l'eau pure, et enfin chauffé *près du rouge sombre* dans un creuset d'argent pur.

Les échantillons d'argent à l'état de barreaux, de blocs et à l'état pulvérulent étant chauffés, n'ont laissé échapper aucun liquide qui, en s'évaporant, a fourni un résidu appréciable. Il n'en est pas de même du métal sous forme de grains, de grenailles, de culots fondus au chalumeau aérhydrique. Sans exception aucune, ceux-ci ont suinté, sous l'influence de la chaleur, un liquide légèrement coloré en jaune, abandonnant par son évaporation un résidu brun, formé essentiellement de chlorure de calcium et d'argent.

Ce liquide était indubitablement contenu dans les cavernes en communication avec l'extérieur et existant dans les grains, grenailles et culots, comme il est dit dans l'introduction de ce mémoire.

Afin d'enlever, autant que faire se peut, les matières étrangères ayant pénétré dans ces cavernes, on a plongé dans l'eau pure et froide les grains, les grenailles et les culots chauffés préalablement *près du rouge sombre*. On

Digitized by Google

a répété les chauffes et les immersions successives dans l'eau froide jusqu'à ce que le liquide sortant de l'argent par l'application de la chaleur n'eût plus laissé de résidu par son évaporation. Ce travail a été fort long à exécuter, et malgré les soins qu'on y a mis, il n'a pas atteint complètement son but, ainsi qu'il sera prouvé plus loin.

Le culot d'argent fondu sous le chlorure de calcium, du poids de 390 grammes environ, dont il est parlé ci-dessus, était contenu dans un bocal de verre fermé d'un simple couvercle. Ce culot avait perdu complètement son brillant métallique et l'aspect cristallin qu'il avait; il était fortement teinté de brun et présentait en outre de nombreuses taches noires. Nous avons appliqué à ce culot le traitement suivi pour la mise en état d'un creuset d'argent pur, dont les parois avaient subi de profondes altérations. Ce traitement a été le suivant : après avoir lavé abondamment le culot à l'eau acidulée à l'acide acétique et ensuite à l'eau pure, on l'a mis en digestion, pendant vingt-quatre heures, dans l'ammoniaque concentrée contenue dans une capsule de platine couverte. Au bout de ce temps, l'ammoniaque a été décantée, et l'on a lavé le culot d'abord à l'eau ammoniacale faible, puis à l'eau froide d'abord et bouillante ensuite.

Par ce traitement la teinte brune a disparu et a été remplacée par une coloration rosée; les taches noirâtres, dues à la sulfuration superficielle de l'argent, étaient aussi prononcées qu'au commencement. A l'aide du chalumeau oxycarbohydrique, rendu fortement oxydant, nous avons chauffé le culot. Bien avant que sa température fût portée au rouge sombre, toutes les taches noires se sont évanouies et la teinte rosée a été remplacée par une coloration rouge, due à du sesquioxyde de fer, uniformément répandue sur toute la surface du culot. Pour enlever le sesquioxyde de fer, pendant que le culot était encore à température élevée, nous l'avons plongé dans l'eau acidulée par 5 °/₀ de son poids d'acide sulfurique, laquelle lui a enlevé immédiatement sa teinte rouge. Après un séjour de vingt-quatre heures dans ce bain, la surface du métal était d'un *blanc mat*.

Pour nous assurer d'avoir débarrassé le lingot du fer qui était adhérent, après l'avoir laissé dans l'eau ammoniacale convenablement renouvelée et l'avoir lavé à l'eau pure, nous l'avons introduit dans le moufle d'un fourneau

Digitized by Google

de Wiesnegg chauffé au rouge sombre, où nous l'avons maintenu pendant quinze à vingt minutes. Au bout de ce temps, nous l'avons plongé de nouveau dans de l'eau acidulée par 5 °/₀ d'acide sulfurique pur. Après un séjour d'une heure dans ce bain, nous nous sommes assurés, par le sulfocyanure d'ammonium, que l'eau acidulée, à peu près neutralisée par l'ammoniaque, n'avait pris aucune trace de fer. Nous avons lavé ensuite le culot, successivement, à l'eau ammoniacale et à l'eau pure. Enfin, nous avons rougi une seconde fois le culot dans le moufle de Wiesnegg. Le métal était d'un blanc mat éblouissant.

II. *De l'état sous lequel le poids spécifique de l'argent a été mesuré.* — Le poids spécifique de l'argent a été déterminé :

1° A l'état indiqué ci-dessus, c'est-à-dire sous forme de barreaux, de blocs, de grenailles, de grains, de culots fondus au dard aérhydrique, ou sous une couche de chlorure de calcium ou de borax, à l'état pulvérulent;

2° A l'état de disques provenant de la compression suivie de la frappe de barreaux, de blocs et de culots : *a.* disques non recuits; *b.* disques recuits;

3° Sous les différents états indiqués aux n^os^ 1° et 2°, chauffés préalablement au rouge sombre, dans le vide;

4° A l'état laminé, après avoir été exposé au vide : *a.* lames non recuites; *b.* lames recuites.

Avant d'exposer la méthode que nous avons suivie pour mesurer le poids spécifique de l'argent sous ces différents états et conditions, nous devons faire connaître les moyens que nous avons employés pour comprimer et frapper ensuite l'argent, pour chauffer ce métal dans le vide, enfin pour le laminer sans l'altérer.

III. *De la compression et de la frappe de l'argent.* — La compression et la frappe subséquente ont été effectuées dans des coins d'acier trempé dur, polis, convenablement envirolés de fer aciéré, entre des plans d'acier trempé dur et parfaitement polis.

La force du balancier employé est telle qu'elle permet la frappe parfaite de médailles de cuivre rouge de 13 à 14 centimètres de diamètre sur

Digitized by Google

8 à 10 millimètres d'épaisseur. Il constitue un des balanciers à médailles les plus puissants connus.

Les coins de frappement étaient constitués, dans leur partie centrale, par de l'acier fondu au creuset, soudé à du fer aciéré. Ce coin ainsi formé était muni d'une virole en fer aciéré d'un diamètre au moins double de celui du coin. Cette précaution n'est pas exagérée ; car l'expérience a prouvé que pour les frappes *à outrance,* nécessaires pour amener le métal au maximum de compression, les viroles ordinaires cèdent sous l'influence de cette pression en produisant la rupture et le lancement au loin de fragments de coin.

Quelles qu'aient été les dimensions des barreaux, des blocs ou des culots destinés à être ramenés à l'état de disques, le diamètre intérieur des coins de frappement a toujours dépassé, d'après mes indications, du $^1/_5$ au $^1/_6$ cette dimension, afin de pouvoir étendre sur les plans, par la compression, le métal dans les limites exactes de ce diamètre avant de le soumettre à la frappe.

Nous avons jugé la compression préalable à la frappe nécessaire pour les culots contenant des cavernes remplies de gaz, *en communication avec l'extérieur,* afin de dégager le plus possible ces gaz au lieu de les tenir renfermés dans le disque produit par la frappe. La compression a été effectuée par deux ouvriers qui ont exercé un effort lent et continu sur les bras du levier constituant le balancier, jusqu'à ce que le métal, en s'affaissant et en s'étendant sous la pression, ait rempli complètement le coin.

Lors de la compression, les culots fondus au dard aérhydrique, c'est-à-dire en présence de gaz, ont tous fait entendre un cri analogue à celui produit par un barreau d'étain qu'on plie.

La compression de barreaux coulés, de blocs ou de culots fondus sous du chlorure de calcium n'a point fait entendre ce cri.

Lorsque, par l'effet de la compression, le métal, en s'affaissant sur lui-même et en s'étendant sous la pression, a rempli complètement le coin, on a soumis à la frappe le disque ainsi produit, pour l'amener au minimum de volume. Nous avons abandonné à l'expérience de l'ouvrier, habitué à la frappe de médailles d'argent, le jugement du nombre et de l'intensité des coups à donner à chaque disque pour l'amener au minimum de volume. Suivant le diamètre et l'épaisseur du disque, le nombre de coups a varié de

Digitized by Google

six à quinze. Quant à leur intensité, l'ouvrier chargé de la frappe s'est réglé exclusivement *sur la résistance présumée* des viroles de sûreté employées. Nous devons dire que plusieurs fois des coins se sont fendus et même que des viroles de sûreté se sont rompues et ouvertes de manière à laisser échapper un fragment de coin qui a été lancé avec violence au loin. La frappe *à outrance* de l'argent est une opération dangereuse à exécuter; aussi l'ouvrier chargé de son exécution a toujours eu soin de se mettre à l'abri de la projection possible d'un fragment de coin.

Après avoir mesuré le poids spécifique des disques d'argent frappés et ensuite celui des disques recuits, nous les avons soumis à une nouvelle compression et à une nouvelle frappe, dans des coins de diamètre légèrement supérieur à celui des disques. Nous avons agi ainsi toutes les fois que le recuit des disques a provoqué des *soufflures*, soit sur leur tranche, soit sur leurs faces, pour être certain d'avoir amené les disques au minimum de volume.

IV. *Du moyen suivi pour chauffer l'argent dans le vide de manière à le priver des gaz qu'il peut contenir.* — Dans la note jointe à la notice n° XIII, il est dit que les tubes de porcelaine, les moufles tubulaires, les pompes à mercure et les pompes de Sprengel, enfin tout le matériel ayant servi à chauffer l'argent dans le vide, ont été détruits lors de l'incendie du Palais du Midi. Nous avons donc été obligés de faire confectionner de nouveaux tubes de porcelaine et d'avoir recours à de nouvelles dispositions pour chauffer l'argent dans le vide. N'ayant d'autre but que de nous procurer du métal argent privé aussi complètement que possible de gaz reclus ou occlus, nous avons jugé inutile de monter un appareil qui nous aurait permis de recueillir les gaz dégagés au rouge sombre dans le vide. Nous nous sommes donc bornés à combiner un système d'appareil en état de satisfaire à la triple condition de faire et de supporter le vide, étant chauffé au rouge sombre, et de permettre à tout instant la constatation de la tension interne dans le tube de porcelaine contenant le métal chauffé. A cet effet, nous avons pris les dispositions suivantes : d'une part, nous avons adapté à un tube de porcelaine bouché par un bout, de 1165 centimètres cubes de capacité, une douille de

Digitized by Google

laiton dépoli, munie d'une plaque boulonnée garnie d'un robinet de laiton à clef de bronze; d'autre part, nous avons établi une communication, par l'intermédiaire d'un tube *épais* de caoutchouc, entre le bout du robinet de laiton garnissant la plaque boulonnée et une trompe à eau munie d'un manomètre, en nous servant, à cet effet, d'un tube long et très flexible de plomb. Pour empêcher la vapeur de l'eau de la trompe de se répandre dans le tube de porcelaine, nous avons interposé, entre la trompe à eau munie de son tube épais de caoutchouc et le tube de plomb, un tube en U, de 35 centimètres de hauteur, complètement rempli d'hydroxyde de potassium, chauffé au rouge et concassé en menus fragments.

Le tube de porcelaine employé était identique aux tubes bouchés d'un bout décrits dans la notice n° XIII. La pâte était formée d'un mélange de *quatre* dixièmes de pâte dite allemande (kaolin), de *deux* dixièmes de pâte dite française et de *quatre* dixièmes d'émail (feldspath) étonné, pulvérisé et lévigé. La composition de ces pâtes est indiquée page 89. Par la voie du *coulage* on a confectionné six tubes de 50 centimètres de longueur sur 6 $^1/_2$ centimètres de diamètre extérieur et 5 $^1/_2$ centimètres intérieur. Les tubes ont été fortement vernis extérieurement et intérieurement, sauf à l'extérieur sur une longueur de 5 centimètres au bout ouvert; ils ont présenté toutes les qualités d'imperméabilité constatées pour les cylindres ouverts par les deux bouts et qui ont servi aux expériences décrites dans la notice n° XIII.

La douille de laiton a été mastiquée sur le bout ouvert du tube de porcelaine, à l'aide d'une pâte formée de gomme-laque fondue et de brique rouge pilée fin, tamisée et rougie, pour sécher la poudre. En prenant la précaution de ne pas exagérer la quantité de poudre de brique et de ne pas élever la température du mélange beaucoup *au delà du point de fusion de la gomme-laque,* on obtient un mastic imperméable aux gaz, sans tension de vapeur à la température ordinaire, adhérant parfaitement à la porcelaine non vernie et au laiton dépoli, convenablement chauffés, et suffisamment dur pour résister à la traction. En élevant la température du mélange beaucoup au delà du point de fusion de la gomme-laque, lors même qu'on n'exagère pas la quantité de poudre de brique, il se produit une réaction

Digitized by Google

dans le mélange, dont le résultat est la production d'une masse solide, infusible sans décomposition. Mais quels que soient les soins pris pour la préparation et l'application du mastic sur le bout du tube de porcelaine, il arrive rarement, pour ne pas dire jamais, que l'air ne filtre pas lentement entre le tube de porcelaine et la douille, si solidement fixés qu'ils soient par le mastic imperméable lui-même aux gaz. Pour réaliser l'imperméabilité complète, nous avons appliqué une couche de vernis sur une partie du tube de porcelaine et sur une partie de la surface externe de la douille de laiton dépoli. Après la dessiccation complète du vernis, on a coulé un bourrelet de cire à cacheter recouvrant à la fois le vernis séché et partiellement la porcelaine et la douille de laiton.

Un cuir dressé et paraffiné dans le vide a été interposé entre la douille de laiton et la plaque boulonnée garnie d'un robinet, destinée à servir de fermeture à la douille et, partant, au tube de porcelaine.

Le chauffage du tube de porcelaine a été effectué dans un moufle de 18 centimètres de profondeur d'un fourneau de Wiesnegg. Mais ce chauffage exigeant de grandes précautions à cause de l'épaisseur des parois du tube, nous avons rempli complètement le moufle d'une pâte de ciment infusible dans laquelle nous avons creusé une cavité cylindrique légèrement aplatie, destinée à contenir la partie du tube de porcelaine devant être chauffée au rouge sombre. Après avoir séché la pâte de ciment à basse température d'abord, puis vers 200°, nous avons rougi fortement le moufle de manière à cuire le ciment.

Comme fermeture du moufle, nous y avons appliqué une plaque de terre réfractaire cuite, ayant une ouverture circulaire d'un diamètre égal à celui du tube de porcelaine. Afin de pouvoir juger, à tout moment, tant à la vue qu'au spectroscope, de l'état d'échauffement du ciment entourant le tube de porcelaine, nous avons agrandi l'ouverture circulaire pratiquée dans la plaque de terre réfractaire, de chaque côté, vers le milieu, d'un demi-centimètre sur une hauteur d'un centimètre.

Nous avons entouré toute la douille de laiton, ainsi que le tiers environ du tube de porcelaine hors du moufle, d'une spire creuse très flexible de plomb par laquelle passait un courant d'eau froide pendant que la partie du

Digitized by Google

tube engagée dans la capacité cylindrique creusée dans le ciment, était portée au rouge sombre. Après avoir fait passer de l'air sec au travers du tube de porcelaine et du tube de plomb, nous avons procédé à l'essai du système d'appareil pour nous assurer s'il tient le vide à la température ordinaire et lorsque le cylindre de porcelaine est partiellement chauffé d'abord *au rouge sombre* et ensuite au *rouge clair*.

En interposant un tube barométrique, plongeant dans une cuvette à mercure, entre la trompe à eau et le restant de l'appareil, nous avons constaté que le fonctionnement de la trompe pendant cinq à six minutes ramène la colonne mercurielle à la hauteur du baromètre normal diminuée de la tension de la vapeur de l'eau qui actionne la trompe au même moment, cette tension a varié de 10 à 15 millimètres. Ayant fait ainsi le vide dans le tube de porcelaine, nous avons tourné la clé du robinet de manière à intercepter la communication entre le cylindre vide d'air et le restant de l'appareil, et nous avons abandonné le tout à lui-même en nous assurant d'heure en heure, pendant toute une journée, de la tension interne. Nous avons reconnu ainsi que le système tenait parfaitement le vide. Ce résultat étant constaté, nous avons élevé lentement la masse de ciment, entourant le tube de porcelaine, du rouge sombre au rouge clair, pendant qu'un courant d'eau froide traversait la spire creuse de plomb enlaçant la douille et une partie du tube de porcelaine. Ayant maintenu ces conditions de température pendant toute une journée, nous avons constaté, avec certitude, que le système tenait parfaitement le vide et que la partie du cylindre de porcelaine chauffée n'éprouvait aucune déformation sensible.

Une nacelle de porcelaine vernie, sauf le fond, de 12 centimètres de longueur sur 3 centimètres de largeur et 2 $^1/_2$ centimètres de profondeur, et soigneusement pesée, a été employée pour contenir l'argent destiné à être chauffé dans le vide. Nous avons fait reposer la nacelle sur une longue et large feuille de platine, pour empêcher son adhérence avec le vernis du tube. Pour assurer l'invariabilité du poids des nacelles, condition difficile à réaliser, nous les avons soumises au traitement suivant :

Après avoir constaté que, chauffées au rouge vif pendant six heures dans le moufle d'un fourneau de Wiesnegg, les nacelles changeaient notable-

Digitized by Google

ment de poids, nous les avons mises en digestion pendant vingt-quatre heures dans de l'acide chlorhydrique concentré additionné d'iodure d'ammonium. Au bout de ce temps nous les avons lavées à l'eau, puis séchées à l'étuve dans de l'air porté successivement de la température ordinaire jusqu'à 190°. Après leur refroidissement, les nacelles, au nombre de six, ont été remises dans le moufle du fourneau de Wiesnegg, dont la température a été portée au rouge *clair* et maintenue toute une journée à ce degré de chaleur. Nous avons déterminé en bloc le poids des six nacelles refroidies à l'air sec; elles ont été remises ensuite dans le moufle du fourneau de Wiesnegg qui a été porté et maintenu pendant six heures à la température *rouge vif* inférieure à celle qu'elles avaient subie, mais supérieure par conséquent à celle à laquelle les nacelles contenant l'argent devaient être exposées dans le tube de porcelaine. Après ce nouveau traitement, le poids des six nacelles, refroidies à l'air sec, a été trouvé égal au poids qu'elles avaient après avoir été chauffées au rouge clair. Nous avons considéré leur poids comme invariable dans les conditions dans lesquelles elles devaient être employées. L'expérience a confirmé cette appréciation.

Nous avons procédé ainsi qu'il suit à l'extraction des gaz contenus dans l'argent :

Nous avons déterminé d'abord le poids de la nacelle, ensuite le poids de la nacelle contenant l'argent à soumettre dans le vide à une température comprise entre le rouge naissant et le rouge sombre. En laissant le système complètement monté, nous avons déboulonné la plaque servant de fermeture à la douille mastiquée au tube de porcelaine, et nous avons glissé, sur la feuille de platine, *au fond* du cylindre de porcelaine, la nacelle chargée d'argent. Immédiatement après nous avons appliqué la plaque en serrant convenablement les boulons, et nous avons fait agir la trompe pour faire le vide aussi avant que possible dans tout l'appareil.

Pour nous assurer que la plaque était bien appliquée, nous avons intercepté la communication entre le tube de porcelaine et le restant de l'appareil. Après une attente de quinze à vingt minutes, le vide étant fait dans le restant de l'appareil, nous avons rétabli la communication avec le tube de porcelaine. Ayant constaté ainsi le parfait fonctionnement du système, nous

Digitized by Google

avons procédé au chauffage du moufle. Ce chauffage a été effectué avec une lenteur telle que nous avons mis une *heure et demie* pour porter le ciment entourant le cylindre de porcelaine entre le *rouge naissant* et le *rouge sombre*. Ce degré de chaleur a été apprécié alternativement à la vue et au spectroscope à vision directe, qui a servi aux expériences décrites dans la notice n° VII. En observant attentivement le manomètre adapté à l'appareil, nous avons constaté avec certitude que l'*argent abandonne* LENTEMENT *des gaz bien avant que l'œil aperçoive le rouge naissant et qu'au rouge sombre le métal cède la majeure partie des gaz dans l'espace de quinze à vingt minutes.* En effet, dans cette dernière condition, la tension interne augmente brusquement de plusieurs centimètres lorsque le poids du métal mis en expérience est considérable. Ces faits confirment ceux exposés dans la notice n° XIII. Néanmoins nous avons reconnu qu'en faisant le vide d'heure en heure, *quatre à cinq heures* de chauffe entre le rouge naissant et le rouge sombre sont nécessaires pour opérer l'élimination des gaz que l'argent peut fournir. Pour ce motif, en commencant l'opération à 7 $^1/_2$ heures du matin nous avons maintenu la chaleur jusqu'à 4 $^1/_2$ heures de l'après-diner.

En admettant que le tube de porcelaine ait été porté du rouge naissant au rouge sombre vers 9 heures du matin, le métal a donc été maintenu à cette température de 7 à 7 $^1/_2$ heures.

Nous avons intercepté alors la communication du tube de porcelaine avec le restant du système d'appareil et, ayant éteint lentement le gaz brûlant sous le moufle, nous avons abandonné le tout au refroidissement.

Le lendemain, après nous être assuré que le vide s'était maintenu dans le tube de porcelaine, nous y avons laissé pénétrer de l'air sec. En déboulonnant ensuite la plaque de laiton, nous avons extrait la nacelle contenant l'argent pour la porter directement sur le plateau de la balance. Après la pesée, nous avons enlevé l'argent de la nacelle et nous avons déterminé le poids de celle-ci. Lorsqu'il y a eu augmentation de poids, nous avons fait agir à chaud de l'acide azotique dilué et pur sur la nacelle. L'acide azotique et les eaux de lavage ont été évaporés ensuite jusqu'à siccité. On a déterminé, à l'aide de l'analyse prismatique de l'étincelle, la nature du métal contenu dans le résidu. La nacelle de porcelaine a été séchée en la chauf-

Digitized by Google

fant vers 190°, dans une étuve à air sec, et, après son refroidissement, on a constaté qu'elle était revenue à son poids initial, preuve que le traitement que nous lui avons fait subir, avant de l'employer à l'expérience, lui a donné un poids invariable dans les conditions dans lesquelles elle devait servir.

Nous avons observé que l'argent, à l'état de grenailles, de grains, de barreaux, de blocs ou de culots, après avoir subi l'action de la chaleur dans le vide, avait perdu sensiblement de son brillant métallique et était devenu plus blanc. Les disques provenant de la frappe de *barreaux* ou de *blocs* n'ont présenté aucune soufflure après l'action de la chaleur; il n'en a pas été de même des disques obtenus à l'aide de la frappe de culots fondus au chalumeau aérhydrique et refroidis dans le dard du réducteur. Ceux-ci, chauffés dans le vide, ont montré des soufflures, tant sur la tranche que sur les faces. Ces disques contenaient donc des gaz reclus.

En agissant comme nous venons de l'exposer, nous avons obtenu les résultats suivants :

I.

La charge de la nacelle de porcelaine était formée d'un mélange de *grains* et de *grenailles* d'argent. Le métal avait été affiné *à plusieurs reprises* au chalumeau aérhydrique et refroidi près de son point de solidification avant d'être versé dans l'eau, ainsi qu'il est dit dans la notice n° 1, pages 13 et 14.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	50,443.50
b. Poids de la nacelle et de l'argent.	218,595.00
c. Poids de l'argent employé.	168,151.50
d. Poids de la nacelle et de l'argent, après avoir été exposés pendant sept heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans le vide et refroidis ensuite dans le vide.	218,586.00
e. Poids de la nacelle, après en avoir retiré l'argent . .	50,446.00
f. Poids de la nacelle traitée à l'acide azotique dilué chaud, lavée et séchée ensuite vers 190°	50,443.50
d'où une perte de poids de l'argent mis en expérience de .	0,011.50

Digitized by Google

Cette perte se compose :

	gr.
a. De gaz et de métal volatilisé	0,009.00
b. De composés solubles de calcium et d'argent . . .	0,002.50

Un kilogramme d'argent perd 54 milligrammes formés de gaz et de métal volatilisé.

II.

La charge de la nacelle de porcelaine se composait :

1° De trois culots d'argent et de deux disques du même métal, provenant de la réduction, *à froid,* d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent, par un mélange de solution ammoniacale de sulfate cuivrique et de sulfite d'ammonium. Le métal avait été affiné au chalumeau aérhydrique dans une coupelle de phosphate basique de calcium pur et refroidi ensuite dans le dard rendu réducteur. Sa préparation a eu lieu en 1863;

2° De deux barreaux et de cinq disques d'argent, provenant de la compression et de la frappe de cinq blocs du même métal que les barreaux. Les barreaux et les blocs ont été prélevés, en 1861, sur la barre du poids de 2875 grammes, obtenue d'une seule coulée, décrite pages 31 et 32 des *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques, etc.*

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine	39,744.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent	459,570.00
c. Poids de l'argent.	419,826.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent chauffés, pendant six heures et demie, entre le rouge naissant et le rouge sombre dans le vide et refroidis ensuite dans le vide. . .	459,561.00
e. Poids de la nacelle après l'enlèvement de l'argent . .	39,744.00
f. Perte de poids de l'argent.	0,009.00

Un kilogramme d'argent perd $21^{mg},4$.

Digitized by Google

III.

La charge de la nacelle de porcelaine se composait :

1° De trois culots d'argent et de deux disques du même métal, provenant de la réduction à froid d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent par un mélange de solution ammoniacale de sulfate cuivrique et de sulfite d'ammonium. L'argent a été affiné, à deux reprises, au chalumeau aérhydrique dans une coupelle de phosphate basique de calcium pur, et refroidi ensuite dans le dard rendu réducteur. Le poids des *trois culots* est 157gr,995 ;

2° De trois barreaux d'argent prélevés au bout inférieur de la latte du poids de 2875 grammes coulée en 1861.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine	36,557.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent.	441,034.00
c. Poids de l'argent	404,477.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent après avoir été chauffés, pendant sept heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre, dans le vide et refroidis dans le vide	441,030.00
e. Poids de la nacelle après en avoir retiré l'argent. . .	36,561.00
f. Poids de la nacelle traitée à chaud par l'acide azotique dilué, après lavage, dessiccation à 190° et refroidissement.	36,557.00
d'où une perte de poids de l'argent de	0,008.00
Cette perte se compose :	
a. De gaz	0,004.00
b. De composés solubles de calcium et d'argent . . .	0,004.00

Après l'action de la chaleur, les deux disques du 1° et les barreaux ne présentent aucune soufflure.

En admettant, ainsi qu'il est probable, que le gaz provienne exclusivement des *trois culots* mis en expérience, et dont le poids était 157gr,995, ceux-ci contiendraient 25mg,3 de gaz par kilogramme de métal.

Digitized by Google

IV.

La charge de la nacelle de porcelaine se composait :

1° D'un culot d'argent et de deux disques du même métal, préparé par feu Rommelaere par l'action à 70° d'une solution de sulfite cuivreux ammoniacale sur une solution ammoniacale d'azotate d'argent. Le métal a été affiné à deux reprises au chalumeau aérhydrique dans un creuset de chaux du marbre et refroidi dans le dard rendu réducteur;

2° De deux disques d'argent provenant de la frappe de culots du métal préparé, en 1863, par l'action, à 70°, d'une solution de sulfite cuivreux ammoniacale sur une solution ammoniacale d'azotate d'argent. Le métal a été affiné au chalumeau oxhydrique dans un creuset de chaux du marbre, et refroidi dans le dard rendu réducteur.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine	39,744.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent	333,491.00
c. Poids de l'argent	293,747.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent chauffés, pendant sept heures, entre le rouge naissant et le rouge sombre dans le vide et refroidis ensuite dans le vide.	333,475.00
e. Poids de la nacelle, après en avoir retiré l'argent . .	39,744.00
f. Poids de l'argent	293,731.00
d'où une perte de poids de l'argent.	0,016.00

Un kilogramme de métal perd 54 milligrammes. Cette perte se compose des gaz contenus dans les culots et les disques, et de l'argent volatilisé. Les quatre disques présentaient des soufflures, tant sur leur tranche que sur leurs faces, et étaient en outre mamelonnés.

V.

La charge de la nacelle de porcelaine était formée :

1° De deux barreaux et d'une lame d'argent. Le métal a été préparé en 1858 par feu von Liebig, lors d'un séjour momentané de l'un de nous à

Digitized by Google

Munich. Dans les *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* se trouvent exposée la méthode employée par l'illustre chimiste allemand pour l'obtention du métal et l'usage qui en a été fait, par l'un de nous, pour la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure de potassium et le chlorure de sodium. Nous nous bornerons à dire ici que cette méthode consiste à réduire, *à froid,* par une solution de sucre de lait pur, une dissolution ammoniacale et concentrée d'azotate d'argent pur additionnée d'hydroxyde de potassium pur jusqu'à précipitation d'argent fulminant. Von Liebig a fondu l'argent précipité, lavé à l'eau ammoniacale et séché avec du borax, et il a coulé le métal dans une lingotière de fer huilée. Le lingot a été rougi, par nous, au chalumeau oxycarbohydrique et maintenu incandescent tant qu'il a coloré le dard en jaune. Ce résultat ne s'est réalisé que très lentement. Le lingot a été divisé en trois barreaux ; l'un d'eux a été laminé à l'aide d'un laminoir d'acier huilé, jusqu'à l'épaisseur d'un demi-millimètre. Les deux barreaux et la lame ainsi obtenus ont été traités successivement à l'acide chlorhydrique concentré et bouillant, à l'eau pure, à l'eau ammoniacale, et enfin rougis au dard du chalumeau aérhydrique;

2° De deux culots d'argent provenant de la réduction à 70° d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent par du sulfite cuivreux ammoniacal. Le métal a été affiné deux fois au chalumeau aérhydrique dans une coupelle de phosphate basique de calcium pur, et refroidi dans le dard aérhydrique rendu réducteur.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine.	50,444.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent.	214,460.00
c. Poids de l'argent	164,016.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent chauffés, pendant six heures, au rouge sombre dans le vide et refroidis dans le vide.	214,451.00
e. Poids de la nacelle, après en avoir retiré l'argent . .	50,444.00
f. Perte de poids de l'argent.	0,009.00

D'où il résulte qu'un kilogramme d'argent perd 54 milligrammes. Cette perte est due, pour la majeure partie, à la volatilisation du métal. En effet, les barreaux et la lame n'ont présenté aucune soufflure.

Digitized by Google

VI.

La charge de la nacelle de porcelaine était formée :

1° D'un grand disque provenant de la frappe d'un culot d'argent préparé par feu Rommelaere et fondu par lui dans un flux de chlorure de calcium pur (voir la notice n° I, page 17). Avant d'être soumis à la compression et à la frappe, le culot a été *partiellement* refondu au chalumeau aérhydrique, rendu fortement réducteur, pour éliminer autant que possible les bulles closes qu'il avait montrées à l'essai ;

2° D'un culot et de deux disques du même métal. Les deux disques proviennent de la frappe de culots obtenus par la refonte au chalumeau aérhydrique de barreaux prélevés sur la latte du poids de 2875 grammes, coulée en 1861. Les culots ont servi à l'expérience n° VI de la notice n° XIII. Ils avaient donc été déjà chauffés dans le vide. Mais ayant été obligé de les rougir à l'air après le traitement qu'ils ont subi pour les mettre en état, nous avons jugé nécessaire de les soumettre une seconde fois au rouge sombre dans le vide.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine	39,444.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent	410,254.00
c. Poids de l'argent	370,510.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent, après sept heures de chauffe entre le rouge naissant et le rouge sombre, et refroidissement dans le vide	410,251.00
e. Poids de la nacelle après l'enlèvement de l'argent . .	39,444.00
f. Perte de poids de l'argent	0,003.00

D'où il résulte qu'un kilogramme d'argent perd 8 milligrammes.

Après avoir été chauffé dans le vide, le grand disque du 1° présente sur la tranche et sur ses faces quelques petites soufflures. Les deux autres disques en sont dépourvus. Il est donc très probable que la perte de poids subie provient *exclusivement* du grand disque dont le poids est 163^{gr},170. Dans cette hypothèse, le kilogramme de ce métal contient 18^{mg},4 de gaz.

Digitized by Google

VII.

La charge de la nacelle de porcelaine se composait d'un fort disque divisé en deux, à l'aide d'un ciseau d'acier trempé dur, et soigneusement décapé ensuite. Le disque provient de la compression suivie de la frappe d'un culot d'argent obtenu en fondant, sous un flux de chlorure de calcium pur, de l'argent pulvérulent. La préparation de ce culot est décrite dans la notice n° I, pages 17 et suivantes, et sa mise en état est exposée page 117 de la présente notice.

	gr.
a. Poids de la nacelle de porcelaine	36,557.00
b. Poids de la nacelle et de l'argent.	426,958.00
c. Poids de l'argent	390,401.00
d. Poids de la nacelle et de l'argent, après sept heures de chauffe dans le vide, entre le rouge naissant et le rouge sombre, et refroidissement dans le vide.	426,951.00
e. Poids de la nacelle après en avoir retiré l'argent . .	36,562.00
f. Poids de la nacelle traitée à chaud par de l'acide azotique dilué, lavée à l'eau, séchée à 190° et refroidie . . .	36,557.00
d'où perte de poids de l'argent	0,012.00

Cette perte se compose :

a. De gaz avec traces de métal	0,007.00
b. D'*oxychlorure de calcium*, abandonné par le métal . .	0,005.00

D'après cela, 1 kilogramme d'argent fondu sous un flux de chlorure de calcium perd, au rouge sombre, 17^{mg},9 de gaz dans le vide, et abandonne, dans les mêmes conditions, 12^{mg},8 d'*oxychlorure de calcium*. Le disque provenant de la frappe d'un culot fondu par feu Rommelaere dans un flux de chlorure de calcium a abandonné, dans le vide, 18 milligrammes de gaz. L'argent fondu sous un flux de chlorure de calcium doit donc donner, à l'analyse prismatique, le spectre du calcium venant s'ajouter au spectre de l'argent.

Digitized by Google

V. *De la mesure du poids spécifique de l'argent.* — Nous avons déterminé le poids spécifique de l'argent dans de l'eau contenue dans la cucurbite d'une grande cornue de platine, et qui avait bouilli en contact avec l'argent.

Nous avons constaté avec certitude que pour avoir une mesure exacte du poids spécifique d'un métal, il est indispensable de maintenir ce métal pendant vingt à trente minutes au sein de l'eau en ébullition, *à la pression ordinaire*, et de soumettre ensuite le tout dans le vide, si le métal est sous forme de culots renfermant des cavernes en communication avec l'air extérieur par de petits pertuis.

A cet effet, nous avons pris les dispositions suivantes : nous avons commencé par établir dans le meuble sur lequel repose la cage de la balance de précision devant servir à la pesée, *à une hauteur convenable*, un trépied mobile, portant un triangle métallique servant de support, dans *une position invariable*, à la cucurbite de platine remplie complètement d'eau à la température de l'air ambiant. Au sein de l'eau flottait librement une corbeille d'argent très légère et de capacité convenable [1], suspendue à un fil mince de platine terminé par un anneau destiné à être attaché au crochet d'une tige vissée au plateau de la balance. La longueur du fil mince de platine était de 15 centimètres dont 5 plongeaient dans l'eau lorsque la corbeille était suspendue et 10 restaient au dehors. Sur les bords dressés du vase de platine, nous avons déposé un plan de verre percé par le milieu d'une ouverture de 2 centimètres environ de diamètre, par le centre de laquelle nous avons fait passer le fil de platine tenant la corbeille d'argent librement suspendue et devant être attaché par son anneau terminal au crochet de la tige vissée au plateau de la balance.

Après avoir introduit, par l'ouverture du plan de verre, de l'eau jusqu'à faire toucher ce liquide aux trois quarts, au moins, de la surface inférieure du plan, nous avons amené tout le système dans la position horizontale, ce dont nous nous sommes assuré à l'aide d'un niveau d'eau. Nous avons ainsi réalisé la constance de la hauteur du niveau de l'eau au centre de la cucurbite.

[1] Le poids de la corbeille d'argent et de sa suspension était de 40 grammes environ. Son volume à 15° est 3^{cm^3},828.

Digitized by Google

Le vase rempli d'eau étant ainsi disposé, nous avons mis dans une capsule de platine, placée sur le plateau de la balance auquel était suspendue, dans l'eau, la corbeille, l'argent dont nous voulions mesurer le poids spécifique, et nous avons posé sur l'autre plateau de la balance des poids de laiton, jusqu'à ce que l'équilibre fût établi, en ayant soin d'empêcher, pendant la pesée, que le fil sorte trop de l'eau ou y pénètre trop. A cet effet, nous nous sommes arrangé de manière que l'oscillation de l'aiguille de la balance s'effectuât de deux divisions au plus autour du zéro de son limbe divisé. L'équilibre étant établi, nous avons noté la hauteur du baromètre et la température, puis l'état hygrométrique et la température de l'air de la cage de la balance, enfin la température de l'eau dans laquelle flotte la corbeille.

Cela étant fait, nous avons retiré l'argent de la capsule de platine placée sur le plateau de la balance, et nous y avons substitué des poids *étalons* de platine jusqu'à ce que l'équilibre fût rétabli. Au même moment, nous avons vérifié l'état hygrométrique et la température de l'air de la cage de la balance, ainsi que la hauteur barométrique. Nous avons constaté toujours la parfaite concordance de ces données avec celles obtenues en premier lieu.

On sait que les pesées hydrostatiques ne présentent pas le degré de précision des pesées faites dans l'air. Toutefois, la diminution de sensibilité d'une balance au plateau de laquelle pend un corps librement suspendu dans l'eau, dépend beaucoup de sa construction. La balance employée nous a permis de répondre du *demi-milligramme,* la corbeille vide ou contenant l'argent flottant librement dans l'eau, bien entendu *lorsque l'équilibre de température de l'eau dans la cucurbite et de l'air ambiant était réalisé.*

La pesée de l'argent dans l'air étant effectuée, *tout en laissant les plateaux de la balance changés de leur poids,* nous avons décroché le fil de platine et laissé descendre la corbeille d'argent au fond de la cucurbite. Nous avons retiré celle-ci du meuble et, après avoir enlevé le disque de verre troué et soustrait une partie de l'eau, en soulevant convenablement la corbeille, nous y avons placé l'argent devant être pesé dans l'eau. Nous avons passé une tige de verre dans l'anneau terminal du fil de platine et nous avons placé la tige sur les bords de la cucurbite. Dans cet état, nous avons déposé celle-ci sur un triangle reposant sur un trépied, et nous avons amené l'eau en

ébullition; celle-ci a été entretenue pendant une demi-heure, en ayant soin de remplacer le liquide évaporé de manière à maintenir le volume constant.

L'expérience enseigne rapidement quand l'air adhérent à la surface est entraîné par la vapeur d'eau. Lorsque nous avons jugé ce résultat atteint — et souvent il l'est au bout de vingt minutes d'une douce ébullition — nous avons porté la cucurbite sur un triangle déposé au fond d'un grand vase de porcelaine rempli d'eau froide, jusqu'à la hauteur de l'eau dans l'intérieur de la cucurbite, et continuellement renouvelée, afin d'opérer un refroidissement aussi rapide que possible. Lorsque l'eau de la cucurbite était presque refroidie, nous y avons introduit un thermomètre servant à la fois d'agitateur, pour mêler les différentes couches d'eau, et d'indicateur de la température moyenne. Nous avons amené l'abaissement jusqu'à *un* degré environ *au-dessous* de la température de l'enceinte où la pesée dans l'eau devait s'exécuter. Ce résultat étant atteint, nous avons retiré la cucurbite du refroidissoir, et après l'avoir rapidement essuyée, nous l'avons portée sur le triangle placé sur le trépied installé dans le meuble supportant la balance. Après avoir passé l'anneau terminal du fil de platine au travers du plan de l'ouverture pratiquée dans le plan de verre, et placé ensuite le plan sur la cucurbite, nous avons attaché l'anneau suspenseur de la corbeille au crochet de la tige vissée au plateau de la balance.

Par l'ouverture pratiquée dans le plan de verre nous avons ajouté de l'eau dans la cucurbite, de manière à amener le contact avec les trois quarts de la surface du plan, et, en nous aidant d'un niveau d'eau, nous avons mis le plan et tout le système dans l'horizontale. Grâce à la simplicité des dispositions prises, nous avons réalisé en peu d'instants les conditions dans lesquelles se trouvait la corbeille dans l'eau, lorsqu'elle était vide d'argent.

En déchargeant successivement le plateau de la balance des poids de platine déposés en remplacement de l'argent enlevé, les poids de platine restant pour rétablir l'équilibre représentent la perte de poids dans l'eau, éprouvée par l'argent mis en œuvre, dans les conditions de *pression*, de *température* et d'*état hygrométrique de l'air*, et de la *température de l'eau* que nous avons déterminée avec soin au moment de l'expérience.

La salle des balances étant située au nord et personne de nous n'y péné-

Digitized by Google

trant que pour effectuer les pesées et les observations hygrométriques, thermométriques et barométriques, les conditions de l'air et de l'eau sont généralement restées les mêmes pour la pesée de l'argent dans l'*air* et dans l'*eau*.

Les pesées ont été réduites au vide et à la température zéro pour l'argent et à 4° pour l'eau par le calcul. Dans une annexe nous donnons tous les éléments qui nous ont servi pour le calcul du poids spécifique que nous avons obtenu pour l'argent dans les différents états et conditions.

En suivant la méthode exposée ci-dessus, l'erreur commise dans l'opération ne dépasse pas $\pm$ 0,002, soit deux unités dans la troisième décimale pour un poids de métal de 100 grammes.

Le résultat obtenu ne doit être considéré comme donnant le poids spécifique réel de l'argent que si le métal mis en expérience ne présente aucune cavité en communication avec des pertuis, *très étroits,* avec l'air extérieur. Lorsqu'il existe des cavernes communiquant avec l'extérieur, comme c'est souvent le cas pour des culots d'argent fondus au chalumeau et refroidis dans le dard, la méthode doit être complétée pour donner des résultats exacts. Dans ce cas il est indispensable de porter la cucurbite avec l'*eau bouillie, mais refroidie,* contenant l'argent, sous une cloche dans laquelle on fait le vide à l'aide d'une trompe à eau. Quand la tension de l'air sous la cloche est suffisamment diminuée, on voit des bulles gazeuses sortir des pertuis des culots, tandis que de la surface du métal il ne s'élève aucune tracé de gaz. Pour être certain d'avoir remplacé par de l'eau l'air contenu dans les cavernes, nous avons laissé rentrer l'air sous la cloche et nous avons opéré une seconde fois le vide aussi avant que possible. Nous avons porté ensuite, directement, la cucurbite sous la balance et nous avons procédé à la pesée hydrostatique en suivant toutes les dispositions indiquées ci-dessus et notamment celles relatives à l'identité de la température de l'eau dans la cucurbite, la corbeille étant vide, et la corbeille contenant l'argent. Ce procédé nous a donné des résultats constants.

L'expérience, suffisamment répétée, nous a prouvé que la méthode consistant à soumettre simplement *à froid,* au vide, l'argent recouvert d'eau et en effectuer ensuite la pesée hydrostatique, conduit à des résultats inexacts.

Digitized by Google

Quel que soit l'état du métal, barreau, lame, culot, etc., il est indispensable, pour avoir une mesure exacte de son poids spécifique, de le tenir une demi-heure dans de l'eau en ébullition, et, lorsqu'il s'agit de culots, de grains et de grenailles, de les exposer dans le vide, sous l'eau bouillie et refroidie, ainsi que nous l'avons exposé ci-dessus.

Le procédé dit *du flacon* fournit également des résultats inexacts, lors même qu'on fait bouillir l'eau contenant l'argent et qu'on porte ensuite le flacon sous une cloche dans laquelle on fait le vide. Nous avons constaté que dans cette méthode l'erreur provient principalement de la difficulté de réaliser, dans l'expérience, l'égalité de la température d'un grand flacon à densité, plein d'eau, et du même flacon contenant l'argent et l'eau. Vingt-quatre heures de séjour dans la cage de la balance n'ont pas suffi pour réaliser l'égalité de température de l'eau du flacon et de l'air de la cage. Or, l'erreur sur le poids de l'eau se porte, dans cette méthode, sur la perte de poids dans l'eau.

Pendant le long travail que nous avons exécuté pour mesurer le poids spécifique d'un grand nombre d'échantillons d'argent, sous des conditions et des états différents, nous avons constaté constamment que l'eau, après avoir bouilli à deux et, au plus, à trois reprises en contact de l'argent absolument pur, devenait trouble et blanchâtre en se refroidissant, pour reprendre sa limpidité par une élévation de la température. Le liquide limpide ou trouble offre une saveur métallique prononcée, et contient, comme nous nous en sommes assurés, de l'argent *dissous*.

Dans une notice spéciale nous ferons l'exposé de l'étude à laquelle nous nous sommes livrés pour élucider ce fait.

Il nous reste à donner le résultat des déterminations du poids spécifique de l'argent sous différents états et conditions.

Digitized by Google

DES RÉSULTATS OBTENUS[1].

I.

Argent en barreaux, en blocs, en disques et en lames.

La latte d'argent du poids de 2875 grammes, coulée en 1861, dont la préparation a été décrite pages 30 à 32 des *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques* de l'un de nous, a été divisée au ciseau d'acier trempé dur et poli, en trois parties égales, et chacune de ces parties a été coupée, à son tour, en deux, dans le sens de la longueur, de manière à représenter le *premier tiers,* le métal du bout opposé à la coulée; le *deuxième tiers,* le métal du milieu de la latte; et le *troisième tiers,* le bout de la coulée.

Ces barres ont été subdivisées ensuite en petits barreaux et en blocs, ceux-ci à peu près carrés, lesquels, après décapage et chauffage au chalumeau aérhydrique près de leur point de fusion, pour chasser l'alcali retenu par l'argent, ont été conservés dans *trois flacons bouchés à l'émeri et étiquetés.*

1° a. *Quatre petits barreaux prélevés au bout de la latte opposé à la coulée.* Le métal, après avoir été exposé successivement à l'action de l'hydro-

[1] Les notes manuscrites laissées par Stas, ne comprenaient, à partir d'ici, que l'indication des données numériques relatives à la détermination des poids spécifiques des divers échantillons d'argent. Aucun calcul ne se trouvait exécuté pour ramener les poids spécifiques au vide et au maximum de densité de l'eau; les conclusions à tirer des résultats des déterminations faisaient défaut. Nous avons donc essayé de combler cette lacune, en nous abstenant, bien entendu, de toute réflexion ne se dégageant pas immédiatement des résultats numériques. En procédant de la sorte, ce mémoire sur l'argent n'apparaîtra pas avec les conséquences que le Maître en aurait indubitablement tirées; mais nous avons cru que

Digitized by Google

gène et au vide à la température du rouge sombre (voir aux pages 58 et 95), a été rougi en présence de l'air pour sa mise en état.

Poids des quatre barreaux dans l'air	155gr.,455
Perte de poids dans l'eau	14,875
Température de l'eau	20°,5
Baromètre réduit à 0°	0m,768.7
Température de l'air de la balance.	20°,0
Point de rosée de l'air de la balance	16°,0

$D_0 = 10,423\,754$ $V_0 = 0,095\,934\,7$

b. Des quatre barreaux employés ci-dessus, trois barreaux ont été prélevés, et ces trois barres ont été exposées au vide; le quatrième barreau a

nous n'avions pas qualité pour achever son travail dans l'acception complète du mot, et nous avons pensé bien faire en ne nous aventurant pas dans des considérations auxquelles il était possible que Stas n'eût pas souscrit.

Nous pensons devoir faire connaître, tout d'abord, la voie que nous avons suivie pour le calcul des poids spécifiques, afin de permettre le contrôle de nos résultats.

Nous nous sommes servi de la formule :

$$d = \frac{m}{w}(Q - \lambda) + \lambda,$$

(Voir le *Guide de physique pratique* de Kohlrausch, traduction de MM. Thoulet et Lagarde, p. 48.)

pour réduire la pesée à l'eau à 4° et au vide.

$\frac{m}{w}$ est le poids spécifique brut, non corrigé.

Q est la densité de l'eau ayant servi à l'observation; elle a été calculée, pour chaque dixième de degré de température, par interpolation, au moyen de la table donnée par Volkmann, d'après Hagen, Matthiesen, Pierre, Kopp et Jolly, telle qu'elle figure dans les *Phys. Chem. Tabellen* de Landolt et Börnstein, p. 33.

λ est la densité de l'air au moment de la pesée dans l'eau.

Pour la déterminer, nous avons pris, dans la table figurant page 41 du recueil précité, la tension de la vapeur d'eau correspondant au point de rosée de l'air de la balance; les trois huitièmes de cette valeur ont été soustraits de la hauteur barométrique pour rapporter le poids de la vapeur d'eau au poids de l'air; ensuite on a calculé λ à l'aide de la formule :

$$\lambda = \frac{0,001\,293}{1 + 0,003\,67\,t} \cdot \frac{h}{760}.$$

La valeur de d, obtenue à l'aide de ces données, exprime le poids spécifique de l'argent ramené au vide et à la densité 1 de l'eau à 4°, mais pour la température qu'avait le métal au moment de sa pesée dans l'eau.

Pour réduire la valeur de d à 0°, on l'a multipliée par le binôme de dilatation de l'argent,

$$1 + 0,000\,019\,21\,t,$$

donné par Fizeau.

Les calculs ont été répétés deux fois au moyen de l'arithmomètre de Thomas. (W. Spring.)

Digitized by Google

été laminé pour déterminer le titre de l'argent, ainsi qu'il est dit dans la notice intitulée : *Titre de l'argent de différentes provenances*. Les trois barreaux chauffés dans le vide ont fourni les résultats suivants :

Poids de l'argent dans l'air	144gr,277
Perte de poids dans l'eau	10,920
Température de l'eau	21°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,762.16
Température de l'air de la balance.	15°,0
Point de rosée de l'air de la balance	11°,2

$D_0 = 10{,}436\,187$ $V_0 = 0{,}095\,820\,4$

2° *a*. Cinq blocs de 25 millimètres environ de côté et de 11 millimètres d'épaisseur, prélevés sur le deuxième tiers, soit sur le *milieu* de la latte, après avoir été rougis au chalumeau aérhydrique tant que la flamme a fourni, à l'analyse prismatique, le spectre sodique et potassique, ont donné les résultats suivants :

Poids dans l'air des cinq blocs	187gr,404
Perte de poids dans l'eau	17,887
Température de l'eau	17°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,758.65
Température de l'air de la balance.	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	11°,1

$D_0 = 10{,}448\,742$ $V_0 = 0{,}095\,705\,3$

b. Les cinq blocs ci-dessus furent introduits successivement dans un coin envirolé de 34 millimètres de diamètre intérieur, et comprimés jusqu'à ce que le métal, en s'affaissant et en s'étendant, eût couvert complètement les surfaces du coin. L'argent comprimé fut soumis ensuite à la frappe. Nous avons obtenu ainsi cinq disques de 34 millimètres de diamètre sur 3 millimètres d'épaisseur. Après le décapage des disques on en prit trois au hasard pour en mesurer le poids spécifique, qui fournit les résultats suivants :

Poids dans l'air des trois disques	110gr,367
Perte de poids dans l'eau	10,497
Température de l'eau	15°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,754.15
Température de l'air de la balance.	14°,5
Point de rosée de l'air de la balance	10°,6

$D_0 = 10{,}496\,230$ $V_0 = 0{,}095\,272\,3$

Digitized by Google

c. Les trois disques précédents, recuits au rouge sombre, montrèrent de *très* légères soufflures. Après le recuit et l'aplatissement des soufflures au pilon d'agathe, les disques ont fourni, à la mesure de leur poids spécifique, les résultats suivants :

Poids dans l'air des trois disques recuits	110gr.,365
Perte de poids dans l'eau	10,507
Température de l'eau	17°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,753.9
Température de l'air de la balance	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,9

$D_0 = 10{,}482\,241$ $V_0 = 0{,}095\,399\,4$

d. Les trois disques précédents, après avoir été soumis à une seconde frappe dans un coin envirolé de 36 millimètres de diamètre, suivie d'un décapage, donnèrent les résultats suivants :

Poids des trois disques dans l'air	110gr.,360
Perte de poids dans l'eau *non bouillie*	10,490
Température de l'eau non bouillie	15°,2
Perte de poids dans l'eau après une ébullition de 30 minutes	10gr,487
Température de l'eau bouillie	16°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,757.03
Température de l'air de la balance	15°,0
Point de rosée de l'air de la balance	11°,5

$D_0 = \begin{cases} 10{,}501\,536 \text{ (bouillie)} \\ 10{,}504\,507 \text{ (non bouillie)} \end{cases}$ $V^0 = 0{,}095\,224\,2$

e. Les trois disques précédents furent chauffés pendant six heures et demie dans le vide, entre le rouge naissant et le rouge sombre; après refroidissement dans le vide, ils donnèrent les résultats suivants :

Poids des disques dans l'air	110gr.,359
Perte de poids dans l'eau	10,499
Température de l'eau	17°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,765.84
Température de l'air de la balance	17°,5
Point de rosée de l'air de la balance	13°,2

$D_0 = 10{,}491\,148$ $V_0 = 0{,}095\,318\,4$

Digitized by Google

3° *a*. Trois barreaux d'argent prélevés sur le bout de la latte de 2875 grammes du côté de la coulée. Les barreaux avaient été exposés successivement *au rouge sombre*, à l'action de l'*hydrogène*, de l'*air* et du vide (voir aux pages 54 et suivantes); après leur mise en état, ils ont fourni les résultats suivants :

Poids des trois barreaux dans l'air.	106gr,590
Perte de poids dans l'eau	10,087
Température de l'eau	16°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,762.64
Température de l'air de la balance.	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,7

$D_0 = 10,547\,243$ $V_0 = 0,094\,811\,5$

b. Les trois barreaux précédents furent soumis au laminage entre des cylindres d'acier trempé dur, polis et huilés. Les lames obtenues, d'un demi-millimètre environ d'épaisseur, furent lavées successivement à l'alcool bouillant, puis décapées à l'acide chlorhydrique dilué, et finalement lavées à l'ammoniaque et à l'eau. Par réflexion, elles émirent une lumière d'un jaune verdâtre. Sans être recuites, elles donnèrent les résultats suivants :

Poids des lames dans l'air.	91gr,677
Perte de poids dans l'eau	8,7315
Température de l'eau	15°,9
Baromètre réduit à 0°	0m,750.37
Température de l'air de la balance.	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,7

$D_0 = 10,481\,124$ $V_0 = 0,095\,409\,6$

c. Soumises au recuit à la température rouge sombre, les lames précédentes étaient devenues d'un blanc mat et couvertes d'un givre strié dans le sens du laminage. Au microscope, ce givre avait l'aspect mamelonné. Elles fournirent les résultats suivants :

Poids des lames dans l'air.	91gr,659
Perte de poids dans l'eau	8,7225
Température de l'eau	15°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,752.98
Température de l'air de la balance.	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,3

$D_0 = 10,488\,414$ $V_0 = 0,095\,343\,3$

Digitized by Google

4° Argent distillé en 1861. Le métal condensé a été refroidi et solidifié dans un courant d'hydrogène. Le petit lingot obtenu a été débité en petits blocs qui, à l'essai au chalumeau aérhydrique, se sont montrés privés de bulles gazeuses. Une partie du métal a servi de type pour le titre de l'argent de différentes provenances. A la mesure du poids spécifique, les petits blocs fournirent les résultats suivants :

Poids des petits blocs dans l'air	13,8540 gr.
Perte de poids dans l'eau	1,3120
Température de l'eau	17°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,766.75
Température de l'air de la balance	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,29

$D_0 = 10{,}539\,011 \qquad V_0 = 0{,}094\,885\,5$

5° *a*. Argent en barreaux, préparé en 1858 par von Liebig :

Poids des deux barreaux dans l'air	79,012 gr.
Perte de poids dans l'eau	7,522
Température de l'eau	14°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,753.16
Température de l'air de la balance	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	13°,27

$D_0 = 10{,}487\,130 \qquad V_0 = 0{,}095\,354\,9$

b. Les deux barreaux précédents, ainsi qu'une lame du même métal, ont été chauffés, au rouge sombre, dans le *vide*. A la mesure du poids spécifique, le métal a fourni les résultats suivants :

Poids des deux barreaux et de la lame dans l'air	90,310 gr.
Perte de poids dans l'eau	8,605
Température de l'eau	16°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,763.50
Température de l'air de la balance	20°,0
Point de rosée de l'air de la balance	16°,1

$D_0 = 10{,}475\,500 \qquad V_0 = 0{,}095\,460\,8$

Digitized by Google

6° *a*. Argent en barreaux provenant de la latte du poids de 1500 grammes dont la préparation et le traitement ont été décrits au 4° de la notice n° XII. Les barreaux ont été exposés dans le vide successivement au rouge sombre et au rouge vif (voir le n° XIII du tableau des expériences); à la mesure du poids spécifique, exécutée par feu Rommelaere, ils ont fourni les résultats suivants :

Poids des barreaux dans l'air	229gr,336
Perte de poids dans l'eau	21,721
Température de l'eau	14°,3
Baromètre réduit à 0°	0m,757.53
Température de l'air de la balance	17°,1
Point de rosée de l'air de la balance	13°,9

$D_0 = 10,540\,34$ $V_0 = 0,094\,873\,6$

b. Les barreaux précédents ont été soumis au laminage et ramenés, sans recuit, à $^1/_3$ de millimètre d'épaisseur. Les lames obtenues, après avoir été lavées à l'alcool bouillant, ont été mises en digestion, pendant vingt-quatre heures, dans de l'eau acidulée par 5 °/₀ d'acide chlorhydrique, puis dans de l'eau ammoniacale, enfin dans de l'eau pure. Séchées à 100° et refroidies, elles ont donné à la mesure de leur poids spécifique, effectuée par feu Rommelaere, les résultats suivants :

Poids des lames dans l'air	228gr,043
Perte de poids dans l'eau	21,712
Température de l'eau	13°,0
Perte de poids dans l'eau, le lendemain	21gr,713
Température de l'eau	13°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,759.43
Température de l'air de la balance	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	11°,9

$D_0 = 10,487\,48$ $V_0 = 0,095\,351\,7$

II.

Argent en grains et en grenailles.

a. L'argent en grains et en grenailles, après avoir été mis en état, a été chauffé, au rouge sombre, dans un creuset d'argent et refroidi ensuite à l'air sec. Une partie de tout l'échantillon, prise au hasard, a donné, à la mesure du poids spécifique, les résultats suivants :

Poids des grains et grenailles dans l'air	101gr,417
Perte de poids dans l'eau	9,826
Température de l'eau	21°,9
Baromètre réduit à 0°	0m,768.69
Température de l'air de la balance	20°,0
Point de rosée de l'air de la balance	16°,4

$D_0 = 10,292\,15$ $V_0 = 0,097\,161\,4$

b. Une autre partie de tout l'échantillon, prise au hasard, après avoir été chauffée *dans le vide*, ainsi qu'il est dit page 123, a donné, à la mesure du poids spécifique, les résultats suivants :

Poids dans l'air des grains et des grenailles. . . .	168gr,142
Perte de poids dans l'eau	16,302
Température de l'eau	12°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,770.63
Température de l'air de la balance.	14°,0
Point de rosée de l'air de la balance	10°,6

$D_0 = 10,300\,35$ $V_0 = 0,097\,084\,0$

L'expérience étant terminée, on a placé la chaudière avec l'eau et la corbeille contenant l'argent, sous une grande cloche, dans laquelle on a fait le vide. Lorsque les grains et grenailles eurent cessé de laisser échapper du gaz par les pertuis, on a porté de nouveau l'eau à l'ébullition à la pression de l'atmosphère. Après avoir maintenu l'ébullition pendant quinze minutes,

Digitized by Google

on a refroidi le vase et l'on a procédé à une nouvelle pesée hydrostatique, qui a fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air des grains et des grenailles	168gr,142
Perte de poids dans l'eau	16,294
Température de l'eau	21°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,770.63
Température de l'air de la balance	14°,0
Point de rosée de l'air de la balance	10°,6

$D_0 = 10,291\,68$ $V_0 = 0,097\,165\,8$

c. Une partie, prise au hasard, des grains et grenailles a été *chauffée au rouge sombre dans l'hydrogène*. Le métal était d'un blanc éblouissant, par rapport au même métal non chauffé dans l'hydrogène. A la mesure du poids spécifique, on a obtenu les résultats suivants :

Poids des grains et grenailles dans l'air	104gr,483
Perte de poids dans l'eau	10,108
Température de l'eau	19°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,766.90
Température de l'air de la balance	18°,5
Point de rosée de l'air de la balance	14°,9

$D_0 = 10,311\,94$ $V_0 = 0,096\,974\,9$

III.

Culots d'argent fondus au chalumeau dans une coupelle de phosphate basique de calcium, et disques provenant de la frappe de ces culots.

1° Trois culots provenant de l'argent, réduit à 80°, d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent par une solution ammoniacale de sulfite cuivreux, fondu ensuite dans une coupelle de phosphate et refroidi dans le dard du chalumeau rendu réducteur. A la mesure du poids spécifique, les culots ont donné les résultats suivants :

Poids des trois culots dans l'air	114gr,170
Perte de poids dans l'eau	11,170
Température de l'eau	19°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,760.35
Température de l'air de la balance	19°,0
Point de rosée de l'air de la balance	15°,8

$D_0 = 10,199\,06$ $V_0 = 0,098\,048\,2$

Digitized by Google

2° *a*. Cinq culots d'argent réduit *à froid* par un mélange d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent et de solutions ammoniacales de sulfate cuivrique et de sulfite d'ammonium, fondu ensuite dans une coupelle de phosphate basique de calcium au dard du chalumeau aérhydrique et refroidi dans le dard rendu réducteur. Les culots étaient de forme lenticulaire; ils avaient de 34 à 36 millimètres de diamètre et de 12 à 14 millimètres de hauteur. A la mesure du poids spécifique, ils ont fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air des cinq culots	290gr,292
Perte de poids dans l'eau	28,450
Température de l'eau	19°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,760
Température de l'air dans la balance	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	14°,7

$D_0 = 10{,}180\,49$ $V_0 = 0{,}098\,227\,0$

b. Deux des cinq culots précédents, pris au hasard, soumis à la compression suivie de la frappe dans un coin de 37 millimètres de diamètre, ont fourni des disques de 8 à 9 millimètres de hauteur. Ces disques, après décapage, ont donné les résultats suivants :

Poids dans l'air des deux disques	132gr,295
Perte de poids dans l'eau	12,599
Température de l'eau	15°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,753.67
Température de l'air dans la balance	14°,5
Point de rosée de l'air de la balance	11°,1

$D_0 = 10{,}483\,15$ $V_0 = 0{,}095\,391\,1$

c. Les deux disques précédents, recuits au rouge sombre, ont donné :

Poids dans l'air des deux disques	132gr,293
Perte de poids dans l'eau	12,604
Température de l'eau	17°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,750
Température de l'air de la balance.	16°,5
Point de rosée de l'air de la balance	12°,9

$D_0 = 10{,}476\,71$ $V_0 = 0{,}095\,449\,8$

Digitized by Google

d. Les deux disques précédents ont été soumis à quinze coups de balancier, puis au décapage; ils ont donné :

Poids dans l'air des deux disques	132gr,297.5
Perte de poids dans l'eau	12,598.5
Température de l'eau	12°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,754.16
Température de l'air de la balance	14°,0
Point de rosée de l'air de la balance	10°,8

$D_0 = 10,487\,23 \qquad V_0 = 0,095\,354\,0$

e. Les deux disques précédents, après avoir été chauffés au rouge sombre dans le vide, ont donné :

Poids dans l'air des deux disques	132gr,297
Perte de poids dans l'eau	12,593
Température de l'eau	20°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,763.68
Température de l'air de la balance	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	13°,3

$D_0 = 10,479\,77 \qquad V_0 = 0,095\,421\,9$

f. Trois des cinq disques désignés ci-dessus sous le n° 2, littera *a*, après avoir été chauffés au rouge sombre dans le vide, ont donné les résultats suivants :

Poids dans l'air des trois disques	157gr,995
Perte de poids dans l'eau	15,458
Température de l'eau	18°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,765.83
Température de l'air de la balance.	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	13°,3

$D_0 = 10,198\,74 \qquad V_0 = 0,098\,051\,3$

3° *a.* Quatre culots d'argent réduit à 70° en versant, dans une solution ammoniacale d'azotate d'argent, un excès de solution ammoniacale de sulfite cuivreux, fondu par feu Rommelaere dans un creuset de chaux du marbre, au dard du chalumeau aérhydrique, et refroidi dans le dard rendu réduc-

Digitized by Google

teur. A la mesure du poids spécifique, les quatre culots ont fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air des quatre culots	228gr,880
Perte de poids dans l'eau	22,800
Température de l'eau	20°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,766.8
Température de l'air de la balance.	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	14°,50

$D_0 = 10,005\,95$ $V_0 = 0,099\,940\,5$

b. Deux culots pris au hasard sur les quatre culots précédents ont été soumis successivement à la compression suivie de la frappe. Après décapage, ils ont fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air des deux culots.	143gr,209
Perte de poids dans l'eau	13,628
Température de l'eau	17°,1
Baromètre réduit à 0°	0m,752.87
Température de l'air de la balance.	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,6

$D_0 = 10,488\,06$ $V_0 = 0,095\,346\,5$

c. Les deux disques précédents ont été soumis au recuit à la température rouge sombre; l'un des disques présentait, après le recuit, une forte soufflure. Ils ont été chauffés au chalumeau aércarbohydrique jusqu'à la fusion *partielle* de leurs surfaces. A la mesure de leur poids spécifique, ils ont fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air des deux disques	143gr,197
Perte de poids dans l'eau	13,770
Température de l'eau	17°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,756.9
Température de l'air de la balance.	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,9

$D_0 = 10,378\,16$ $V_0 = 0,096\,356\,2$

4° *a.* Trois culots d'argent réduit *à froid* par l'action d'un excès de solution ammoniacale de sulfite cuivreux sur une solution ammoniacale

d'azotate d'argent. L'argent précipité a été fondu au chalumeau aércarbohydrique, dans un creuset de chaux du marbre, et refroidi dans le dard rendu réducteur. A la mesure du poids spécifique ils ont fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air des trois culots	181gr,644.5
Perte de poids dans l'eau	18,368.5
Température de l'eau	22°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,765.7
Température de l'air de la balance	20°,0
Point de rosée de l'air de la balance	16°,8

$D_0 = 9,860\,447 \qquad V_0 = 0,101\,415\,2$

b. Deux des trois culots précédents furent soumis à la compression suivie de la frappe. Après décapage, ils ont donné à la mesure de leur poids spécifique les résultats suivants :

Poids dans l'air des deux disques	128gr,559
Perte de poids dans l'eau	12,230
Température de l'eau	16°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,748.93
Température de l'air de la balance	17°.0
Point de rosée de l'air de la balance	13°,25

$D_0 = 10,487\,87 \qquad V_0 = 0,095\,348\,2$

c. Les deux disques précédents furent soumis au recuit à une température rouge sombre; après le recuit, ils présentèrent des soufflures et fournirent à la mesure de leur poids spécifique les résultats suivants :

Poids dans l'air des deux disques	128gr,557
Perte de poids dans l'eau	12,250
Température de l'eau	15°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,754.17
Température de l'air de la balance	14°,0
Point de rosée de l'air de la balance	10°,1

$D_0 = 10,476\,82 \qquad V_0 = 0,095\,448\,8$

d. Les deux disques précédents furent soumis une seconde fois à la frappe et chauffés ensuite, au rouge sombre, dans le vide. Les soufflures,

Digitized by Google

aplaties par la frappe, se reproduisirent ; à la mesure de leur poids spécifique ils donnèrent les résultats suivants :

Poids dans l'air des deux disques	128gr,547
Perte de poids dans l'eau	12,289
Température de l'eau	19°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,761.71
Température de l'air de la balance	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	14°,5

$D_0 = 10,436\,60$ $V_0 = 0,095\,816\,6$

IV.

Culots d'argent fondu sous un flux de chlorure de calcium.

1° *a.* Le culot d'argent provenait de la fonte de l'argent pulvérulent sous un flux de chlorure de calcium (voir pages 18 à 20). A la mesure du poids spécifique, il a donné les résultats suivants :

Poids du culot dans l'air	390gr,412.5
Perte de poids dans l'eau	37,104.0
Température de l'eau	19°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,751.65
Température de l'air de la balance	21°,0
Point de rosée de l'air de la balance	18°,0

$D_0 = 10,498\,52$ $V_0 = 0,095\,251\,5$

b. Le culot précédent fut soumis à une compression suivie de la frappe qui ramenèrent son diamètre de 60 à 62 millimètres et son épaisseur de 35 à 13,45 millimètres. Le disque, après décapage, fournit, à la mesure de son poids spécifique, les résultats suivants :

Poids dans l'air du disque	390gr,412
Perte de poids dans l'eau	37,105
Température de l'eau	16°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,760.28
Température de l'air de la balance	15°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,8

$D_0 = 10,502\,89$ $V_0 = 0,095\,211\,9$

Digitized by Google

c. Le disque précédent fut soumis à une deuxième frappe poussée *à outrance* à cause de la dureté présentée par l'argent. Après décapage, le disque donna, à la mesure de son poids spécifique, les résultats suivants :

Poids du disque dans l'air	390gr.,410
Perte de poids dans l'eau	37,085
Température de l'eau	18°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,756.66
Température de l'air de la balance.	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	15°,7

$D_0 = 10,504\,37 \qquad V_0 = 0,095\,519\,84$

d. Le disque précédent fut recuit avec soin, entre le rouge naissant et le rouge sombre, pour ne pas altérer son poids. A la mesure de son poids spécifique, il donna les résultats suivants :

Poids dans l'air du disque *recuit*	390gr.,410
Perte de poids dans l'eau	37,090
Température de l'eau	18°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,749.75
Température de l'air de la balance.	18°,5
Point de rosée de l'air de la balance	14°,9

$D_0 = 10,503\,806 \qquad V_0 = 0,095\,203\,5$

e. Le disque recuit fut coupé en deux à l'aide d'un ciseau d'acier trempé dur, et poli. Le disque divisé fut, après décapage, soumis au vide à la température rouge sombre. La mesure du poids spécifique donna les résultats suivants :

Poids dans l'air du disque divisé	390gr.,390
Perte de poids dans l'eau	37,102
Température de l'eau	13°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,768.5
Température de l'air de la balance.	14°,0
Point de rosée de l'air de la balance	9°,2

$D_0 = 10,506\,107 \qquad V_0 = 0,095\,182\,7$

f. Un demi-disque fut soumis au laminage entre des cylindres d'acier poli et huilés, jusqu'à un demi-millimètre d'épaisseur. La lame obte-

Digitized by Google

nue était d'une dureté exceptionnelle; elle fut divisée en fragments de 7 à 8 centimètres de longueur, et les lames furent lavées à l'alcool bouillant dans un appareil à reflux, puis décapées *à froid*, par de l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique; enfin, successivement, lavées à l'ammoniaque liquide et à l'eau. Après dessiccation à 100°, les lames donnèrent, à la mesure spécifique de l'argent, les résultats suivants :

Poids des lames dans l'air.	gr. 176,547
Perte de poids dans l'eau	16,782
Température de l'eau	18°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,753.9
Température de l'air de la balance.	16°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,0

$D_0 = 10,499\,19$ $V_0 = 0,095\,245\,4$

g. Les lames précédentes, recuites avec soin entre le rouge naissant et le rouge sombre, donnèrent, à la mesure du poids spécifique, les résultats suivants :

Poids des lames dans l'air.	gr. 176,545
Perte de poids dans l'eau	16,776
Température de l'eau	14°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,763.91
Température de l'air de la balance.	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,55

$D_0 = 10,505\,10$ $V_0 = 0,095\,191\,8$

2° *a*. Culot provenant de la fonte de l'argent pulvérulent, opérée par feu Rommelaere, sous un flux de chlorure de calcium (voir page 18). Le culot brut de fonte fournit, à la mesure du poids spécifique, les résultats suivants :

Poids du culot dans l'air	gr. 163,426
Perte de poids dans l'eau	15,606
Température de l'eau	15°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,752.72
Température de l'air de la balance.	20°,0
Point de rosée de l'air de la balance	17°,2

$D_0 = 10,453\,422$ $V_0 = 0,095\,662\,4$

Digitized by Google

b. Le culot précédent, soumis à la compression suivie de la frappe, fournit, après le décapage du disque produit, les données suivantes :

Poids du disque dans l'air.	163gr.,426
Perte de poids dans l'eau	15,545
Température de l'eau	17°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,760.28
Température de l'air de la balance.	15°,7
Point de rosée de l'air de la balance	13°,6

$D_0 = 10,492\,515$ $V_0 = 0,095\,306\,0$

c. Le disque précédent, recuit *jusqu'au ramollissement du métal,* donna, à la mesure du poids spécifique, les résultats suivants :

Poids du disque dans l'air.	163gr.,424
Perte de poids dans l'eau	15,547
Température de l'eau	17°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,760.2
Température de l'air de la balance.	15°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,9

$D_0 = 10,489\,684$ $V_0 = 0,095\,331\,7$

d. Le disque précédent, d'un diamètre de 45 millimètres, fut soumis à la compression suivie de la frappe à *outrance* dans un coin de 60 millimètres de diamètre. Après décapage, le disque donna, à la mesure du poids spécifique, les résultats suivants :

Poids du disque dans l'air.	163gr.,183
Perte de poids dans l'eau	15,508
Température de l'eau	18°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,743.8
Température de l'air de la balance.	18°,5
Point de rosée de l'air de la balance	16°,2

$D_0 = 10,500\,406$ $V_0 = 0,095\,234\,4$

e. Le disque précédent fut soumis au recuit jusqu'au ramollissement du métal. A la mesure du poids spécifique il donna les résultats suivants :

Poids du disque dans l'air.	163gr.,179
Perte de poids dans l'eau	15,505
Température de l'eau	19°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,750.7
Température de l'air de la balance.	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	14°,7

$D_0 = 10,499\,033$ $V_0 = 0,095\,246\,8$

Digitized by Google

f. Le disque précédent fut divisé en deux parties à l'aide d'un ciseau d'acier trempé dur et poli, afin de pouvoir entrer librement dans le tube de porcelaine pour y être chauffé, au rouge sombre, dans le vide. Après avoir été exposé pendant six heures dans le vide, il a fourni, à la mesure de son poids spécifique, les résultats suivants :

Poids dans l'air du disque divisé	163gr,170
Perte de poids dans l'eau	15,515
Température de l'eau	17°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,764.63
Température de l'air de la balance	19°,0
Point de rosée de l'air de la balance	16°,2

$D_0 = 10,495\,68$ $V_0 = 0,095\,277\,2$

V

Culots d'argent fondu sous le borax.

1° Il est dit, page 35, qu'un disque du poids de 250 grammes prélevé sur un culot d'argent du poids de 870 grammes, fondu sous une couche de borax, a été conservé pour la mesure de son poids spécifique. Ce disque ayant été perdu lors de l'incendie du Palais du Midi, nous avons préparé un culot d'argent tronconique en suivant le mode qui avait été pratiqué pour l'obtention du culot tronconique ayant fourni le disque en question. A cet effet, de l'argent pulvérulent réduit du chlorure par le saccharose et l'hydroxyde de sodium, dont le poids spécifique était D_0 10,292 15, fut mêlé à 10 °/₀ de son poids de borax desséché et fondu dans un creuset au four Perrot. Après le refroidissement, le creuset fut brisé et le culot, détaché du flux de borax qui était légèrement coloré en jaune, fut maintenu, successivement, dans de l'eau pure, puis dans de l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique, enfin dans de l'eau ammoniacale en ébullition dans un vase de platine. La surface du culot décapé était cristallisée à l'égal de l'argent fondu sous un flux de chlorure de calcium. Le culot fut exposé au dard du chalumeau aércarbohydrique jusqu'à ce que le dard qui, après avoir passé sur le métal chauffé près de son point de fusion, ne se colorât plus en jaune et ne fournît, à l'analyse prismatique, qu'un spectre sodique très faible.

Digitized by Google

A la mesure du poids spécifique du culot, on a obtenu les résultats suivants :

Poids du culot dans l'air	132,400 gr.
Perte de poids dans l'eau	12,800
Température de l'eau	12°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,771.4
Température de l'air de la balance	12°,0
Point de rosée de l'air de la balance	5°,8

$D_0 = 10{,}328\,934$ $V_0 = 0{,}096\,815\,4$

2° Le culot précédent fut refondu au four Perrot, sous un flux de borax anhydre. Après décapage et traitement convenable au dard du chalumeau aércarbohydrique, il donna, à la mesure de son poids spécifique, les résultats suivants :

Poids du culot dans l'air	131,900 gr.
Perte de poids dans l'eau	12,627
Température de l'eau	16°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,764.02
Température de l'air de la balance	16°,5
Point de rosée de l'air de la balance	10°,25

$D_0 = 10{,}427\,121$ $V_0 = 0{,}095\,903\,7$

3° De l'argent pulvérulent, réduit de l'azotate par une solution bouillante d'hydroxyde de sodium et de saccharose, dont le poids spécifique était 9,860 447, fut mêlé de 10 °/₀ de son poids de borax anhydre pulvérisé. Le mélange, introduit dans un creuset dit de Paris, fut soumis *simplement* à la fusion dans le four Perrot. La surface du métal décapé était cristalline. Le culot fut exposé au dard du chalumeau aércarbohydrique jusqu'à fusion partielle de sa surface, et maintenu à ce degré tant qu'il a coloré le dard en jaune. A la mesure du poids spécifique, il donna les résultats suivants :

Poids du culot dans l'air	187,230 gr.
Perte de poids dans l'eau	18,357
Température de l'eau	18°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,760.77
Température de l'air de la balance	19°,0
Point de rosée de l'air de la balance	12°,2

$D_0 = 10{,}177\,023$ $V_0 = 0{,}098\,260\,5$

Digitized by Google

4° Cinq cents grammes de l'argent pulvérulent qui a fourni le culot précédent, furent mêlés à 50 grammes de borax anhydre pulvérisé et le mélange fut fondu dans un creuset dit de Paris, préalablement verni intérieurement au borax.

Le métal fut maintenu en fusion sous le borax pendant *trois heures,* et abandonné ensuite au refroidissement. Le métal solidifié était sous la forme d'un culot tronconique de 60 millimètres de hauteur et de 45 millimètres de diamètre à la base. Chauffée au dard du chalumeau aérhydrique, la surface du culot s'est soulevée au centre de la base. Le culot contenait donc une caverne; il fut mis au tour pour ouvrir celle-ci jusqu'au fond. Il a fallu y pratiquer, au tour, une ouverture de 28 millimètres de diamètre sur 18 millimètres de profondeur, et ensuite, une seconde ouverture de 12 millimètres de diamètre sur 15 millimètres de profondeur pour atteindre le fond de la caverne; celle-ci était très irrégulière et avait 33 millimètres de profondeur.

Le culot, après décapage, fut exposé au dard du chalumeau aércarbohydrique jusqu'à fusion de sa surface. *Le métal s'est liquéfié sans produire des bulles gazeuses;* il a été maintenu à ce degré de chaleur tant qu'il a coloré le dard en jaune. A la mesure de son poids spécifique, il a fourni les résultats suivants :

Poids dans l'air du culot creusé. . , ...	406^gr^,839
Perte de poids dans l'eau	38,728
Température de l'eau	15°,0
Baromètre réduit à 0°	0^m^,762.17
Température de l'air de la balance.	14°,5
Point de rosée de l'air de la balance	9°,7

$D_0 = 10,487\,567 \qquad V_0 = 0,095\,351\,0$

VI.

Tournures d'argent.

Les tournures d'argent, provenant du creusement du culot précédent fondu sous le borax, furent décapées à l'acide sulfurique dilué bouillant, tant que l'eau acide de décapage a fourni trace de borax. Le métal, après avoir

Digitized by Google

Brussels.

AVIS

M. le professeur J.-D. van der Plaats ayant bien voulu me signaler une erreur commise dans l'emploi du coefficient de dilatation de l'argent (voir la note de la page 142), il y a lieu de remplacer la feuille 21 du mémoire de J.-S. Stas (t. XLIX des *Mém des membres de l'Acad. roy. de Belgique*) par la feuille présente *corrigée*.

Le lecteur voudra bien corriger lui-même les valeurs de D_0 et de V_0 figurant dans les feuillets 142 à 160 inclus, conformément aux nombres repris dans les tableaux de la feuille 21 (pp. 164 à 168).

W. SPRING.

uge, dans
d'un blanc
s résultats

4

n d'azotate
s d'ammo-
sec jusqu'à
le.

;

53

, fut intro-
le l'argent,
emplissant

ie d'eau de
ns laquelle
la poudre

Digitized by Google

submergée a dégagé trace de gaz. Ce résultat étant atteint, la capsule de platine a été descendue avec précaution dans la corbeille immergeant dans l'eau de la cucurbite qui, après avoir été portée à l'ébullition, était à peine refroidie. On a fait bouillir ensuite, pendant quelques minutes, l'eau de la cucurbite pour chasser l'air adhérent à la paroi externe de la capsule de platine reposant dans la corbeille submergée. On a procédé enfin au refroidissement rapide de tout le système. A la pesée hydrostatique, on a obtenu les résultats suivants :

Poids dans l'air de l'argent pulvérulent.	52gr,068
Perte de poids dans l'eau	5,013
Température de l'eau	17°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,761.51
Température de l'air de la balance	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance.	14°,1

$D_0 = 10,372\,45$ $V_0 = 96,409\,2$

2° Argent pulvérulent provenant de la réduction du chlorure d'argent pur par une solution *bouillante* d'hydroxyde de sodium à 10 °/₀ et de saccharose. Le métal réduit, après un lavage à l'eau et un traitement subséquent à l'eau acidulée à l'acide acétique pur, suivi d'un lavage à l'eau ammoniacale, a été séché dans un vase d'argent à la température de 150° et refroidi ensuite à l'air sec. Pour la pesée hydrostatique, on a suivi le mode indiqué ci-dessus n° 1, littera *b*, et l'on a obtenu les résultats suivants :

Poids de l'argent pulvérulent dans l'air.	43gr,147.2
Perte de poids dans l'eau	4,117
Température de l'eau	18°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,762.53
Température de l'air de la balance	18°
Point de rosée de l'air de la balance.	11°,45

$D_0 = 10,466\,55$ $V_0 = 95,542\,5$

3° Argent pulvérulent provenant de la réduction, à 70°, d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent par *un excès* de solution ammoniacale de sulfite cuivreux. Le métal, préparé en 1861, était d'une ténuité extrême. Après avoir été mis successivement en digestion avec de l'eau contenant

Digitized by Google

2 °/₀ de son volume d'ammoniaque liquide saturée de sesqui-carbonate jusqu'à ce que tout le cuivre adhérent fût enlevé, et après avoir été traité à l'eau acidulée à l'acide sulfurique, puis à l'eau acidulée à l'acide fluorhydrique et enfin lavé à l'eau pure, il a été séché à 100°. Le métal, très fin et plastique, était d'un blanc grisâtre.

Pour sa pesée hydrostatique, on a suivi le mode indiqué ci-dessus n° 1, littera *b*, et l'on a obtenu les résultats suivants :

Poids dans l'air de l'argent	43gr,321
Perte de poids dans l'eau	4,189
Température de l'eau	16°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,769.88
Température de l'air de la balance	15°,0
Point de rosée de l'air de la balance	9°,1

$D_0 = 10{,}328\ 39$ $\quad V_0 = 96{,}820\ 5$

4° L'argent pulvérulent provenait de la réduction, à 100°, d'une solution d'azotate d'argent pur, par une solution d'hydroxyde de sodium et de saccharose, ainsi qu'il est dit dans la notice n° III, pages 28 et suivantes. Le métal réduit, après avoir été lavé à la trompe jusqu'à disparition complète de l'hydroxyde de sodium, a été traité successivement à l'eau acidulée, à l'acide acétique, puis à l'eau ammoniacale, et enfin, essoré à la trompe. L'argent ainsi obtenu étant fort hygroscopique, a été maintenu toute une journée à 150°. Pour la mesure de son poids spécifique, on a suivi le mode indiqué ci-dessus n° 1, littera *b*, et l'on a obtenu les résultats suivants :

Poids de l'argent dans l'air.	39gr,934
Perte de poids dans l'eau	3,823
Température de l'eau	16°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,745.07
Température de l'air de la balance	16°,5
Point de rosée de l'air de la balance	11°,8

$D_0 = 10{,}433\ 36$ $\quad V_0 = 95{,}846\ 4$

Digitized by Google

RÉSULTATS[1].

Pour rendre la comparaison des résultats plus commode, on a dressé les tableaux de récapitulation qui suivent :

1er TABLEAU.

Argent en barreaux, blocs, disques ou lames.

	D_0	V_0
1. *a.* Argent coulé : bout de la coulée	10,431 96	95,859 2
b. Le même, chauffé dans le vide	10,444 77	95,741 7
2. *a.* Argent coulé, milieu, chauffé au rouge	10,455 81	95,640 6
b. Le même, comprimé et frappé	10,502 44	95,216 0
c. Le même, recuit au rouge	10,489 41	95,334 1
d. Le même, après frappe nouvelle	10,508 16	95,164 2
e. Le même, chauffé dans le vide	10,498 02	95,256 2
3. *a.* Bout de latte privé de gaz	10,553 97	94,751 0
b. Le même, laminé	10,487 52	95,351 4
c. Le même, recuit	10,494 54	95,287 6
4. Argent distillé privé de gaz	10,545 89	94,823 6
5. *a.* Argent préparé par v. Liebig (1858)	10,493 09	95,300 7
b. Le même, chauffé dans le vide	10,482 18	95,399 9
6. *a.* Argent chauffé dans le vide	10,546 13	94,821 5
b. Le même, laminé	10,492 72	95,304 1

L'argent privé de gaz a donc, manifestement, un poids spécifique plus grand; celui-ci atteint 10,545 89; 10,546 13 ou même 10,553 97. En soustrayant du volume de l'échantillon le moins dense, 95,859 2, le volume du plus dense, 94,751 0, on a pour résultat

1cc,1082;

pour savoir si cette différence de volume correspond à du gaz occlus ou à

[1] Ces dernières pages n'ont pas été rédigées par Stas. (Voir la note des pages 141-142.)

N. B. Une erreur s'étant glissée dans l'emploi du coefficient de dilatation de l'argent (voir la note de la p. 142), le lecteur voudra bien corriger les valeurs de D_0 et de V_0 figurant aux feuillets 142 à 160, conformément aux nombres *exacts* repris dans les tableaux 1 à 7.

Digitized by Google

du gaz reclus, il suffit de la rapprocher du volume de gaz qu'il a été possible d'extraire, par kilogramme de métal, en exposant l'argent au rouge, dans le vide. Ce volume a varié de 3 centimètres cubes à $19^{cc},1$. On doit donc en conclure que tout le gaz ne se dégage pas du métal sous forme de bulles, à moins d'admettre que celles-ci se trouvent sous une pression très forte au moment où elles se forment, pression pouvant atteindre environ 19 atmosphères. Si cette supposition était conforme à la réalité des faits, on devrait arriver, par une compression et une frappe à outrance, à rendre au métal sa densité maxima. Un recuit devrait ensuite reproduire sensiblement la densité première. Il n'en est pas ainsi : la diminution de volume due à la frappe n'a été que de $0^{cc},424$; l'augmentation de volume due au recuit subséquent, seulement de $0^{cc},118$ 1, et une frappe nouvelle ne la réduit que de $0^{cc},169$ 9.

Il est donc probable que la plus grande partie des gaz dissous à chaud se trouvent dans le métal refroidi à l'état de gaz *occlus*, c'est-à-dire *dissous*.

Un fait remarquable se dégage encore du tableau précédent. Les échantillons les plus denses ont augmenté de volume par le laminage. Cette augmentation a été de $0^{cc},600$ 4 une première fois et de 0,482 6 une seconde fois. Le recuit suivant, loin d'augmenter le volume, l'a diminué de $0^{cc},063$ 8.

2e TABLEAU.

Argent en grains et en grenailles.

	D.	V. (cc)
a. Argent chauffé au rouge	10,300 80	97,079 8
b. Le même, chauffé dans le vide	10,305 09	97,039 4
b'. Le même, après ébullition de l'eau dans le vide	10,299 98	97,087 5
c. Grains chauffés au rouge dans l'hydrogène	10,319 70	96,902 0

Ces grains avaient été obtenus en coulant l'argent dans de l'eau. La densité plus faible de ce métal tend à faire supposer que, par le refroidissement brusque, l'argent s'est conservé, en partie, sous l'état plus dilaté qu'il avait pris par l'action de la température élevée à laquelle il avait été soumis. La faible augmentation du poids spécifique due à l'expulsion des gaz dissous

Digitized by Google

par l'exposition du métal au rouge soit dans le vide, soit dans l'hydrogène, vient à l'appui de cette conclusion.

Au surplus, la proportion de gaz trouvée dans l'argent en grenailles (pages 112 et suivantes) variant de $5^{cc},10$ à $26^{cc},60$, ne suffit pas à expliquer la faible diminution de volume entre les échantillons *a*, *b* et *b'* de ce tableau.

3e TABLEAU.

Culots d'argent fondus dans une coupelle de phosphate de calcium.

	D_0	V_0
1. Culots fondus dans une atmosphère réductrice . .	10,206 56	97,976 2
2. *a.* Idem, provenant d'argent réduit à froid	10,187 92	98,155 4
b. Le même, comprimé et frappé.	10,489 18	95,336 3
c. Le même, après recuit	10,483 63	95,386 8
d. Le même, après 15 coups de balancier	10,492 22	95,354 0
e. Le même, recuit dans le vide	10,487 82	95,348 7
f. Argent du n° 2 chauffé dans le vide	10,205 94	97,982 1
3. *a.* Argent réduit à 70°, fondu dans la chaux . . .	10,013 63	99,863 8
b. Le même, frappé	10,494 95	95,283 9
c. Le même, recuit	10,385 17	96,291 1
4. *a.* Argent réduit à froid, fondu en milieu réducteur.	9,868 87	101,328 7
b. Le même frappé	10,494 64	95,286 7
c. Le même, recuit	10,482 94	95,393 1
d. Le même, frappé et recuit dans le vide	10,444 21	95,746 8

Les nombres de ce tableau montrent l'influence exercée sur le poids spécifique de l'argent par les gaz chauds mis au contact de l'argent pendant la fusion. Le poids spécifique s'est abaissé jusque 10,187 92 (n° 2, *a*) et même 9,868 87 (n° 4 *a*); la compression a relevé ce poids jusque 10,494 64 sans qu'un recuit subséquent ne le diminue d'une manière notable. La différence de volume spécifique s'établit par $6^{cc},0420$ à $2^{cc},8191$. Bien que cette différence soit plus grande que celle déduite du premier tableau, elle ne suffit cependant pas pour permettre de regarder les gaz comme reclus exclusivement : la plus grande partie est occluse. La compression, ou la frappe, n'est pas en état de ramener le métal à une densité aussi grande que celle que l'on a constatée d'après le premier tableau.

Digitized by Google

4e TABLEAU.

Culots fondus sous un flux de chlorure de calcium.

		D_0	V_0
1.	*a.* Culot fondu	10,506 17	95,182 1 c.c.
	b. Le même, frappé	10,509 34	95,153 4
	c. Le même, frappé à outrance	10,511 87	95,130 5
	d. Le même, recuit	10,511 15	95,137 0
	e. Le même, recuit dans le vide	10,511 59	95,133 0
	f. Le même, laminé	10,506 45	95,179 6
	g. Le même, recuit	10,510 75	95,140 6
2.	*a.* Culot obtenu par M. Rommelaere	10,459 60	95,605 9
	b. Le même, frappé	10,499 44	95,243 1
	c. Le même, recuit	10,496 61	95,268 8
	d. Le même, frappé à outrance	10,507 75	95,167 8
	e. Le même, recuit	10,507 02	95,174 4
	f. Le même, chauffé dans le vide	10,502 85	95,212 2

Ce tableau confirme les conclusions tirées du précédent : l'argent ayant été fondu sous un flux, s'est trouvé plus ou moins complètement soustrait à l'influence directe des gaz ; son poids spécifique ne s'est abaissé, dans aucun cas, aussi bas que dans le cas d'une fusion *à nu*. Bien plus, la frappe n'a produit qu'un faible effet sur l'augmentation du poids spécifique, de même que le recuit n'a pu diminuer notablement ce poids.

Remarquons encore l'abaissement du poids spécifique à la suite du *laminage*, ainsi que sa reprise par le recuit subséquent (comp. n° 2, *f* et *g*).

5e TABLEAU.

Culots fondus sous un flux de borax.

	D_0	V_0
1. Argent pulvérulent fondu	10,334 01	96,767 8 c.c.
2. Le même, refondu	10,433 53	95,844 8
3. Argent réduit par le sucre, fondu simplement	10,184 29	98,190 4
4. Le même, fondu sous le borax	10,493 61	95,290 6

6e TABLEAU.

Tournures du culot précédent	10,476 27	95,453 8

Les conclusions à tirer de ces tableaux 5 et 6, nous paraissent être les mêmes que celles du tableau 4.

Digitized by Google

7e TABLEAU.

Argent pulvérulent.

	D.	V_0 (c.c.)
1. *a*. Argent réduit par le formiate	10,369 11	96,240 2
b. Le même, après ébullition de l'eau	10,372 45	96,409 2
2. Argent réduit par le sucre	10,466 55	95,542 5
3. Argent réduit par le sulfite de cuivre	10,328 39	96,820 5
4. Argent réduit par le sucre à 100°	10,433 36	95,846 4

Les nombres de ce dernier tableau montrent que si, à la vérité, le poids spécifique de l'argent de différentes provenances est un peu inférieur à celui de l'argent fondu sous un flux, ou de l'argent frappé, il est cependant notablement plus élevé que celui de l'argent fondu dans un courant de gaz. Il paraît, en conséquence, que c'est bien pendant l'acte de la fusion que les gaz se dissolvent dans le métal. Ils y restent alors, pour la plus grande partie, à l'état de gaz occlus, c'est-à-dire dissous.

Digitized by Google

été maintenu dans l'ammoniaque, a été séché, puis chauffé au rouge, dans l'air, au moufle d'un fourneau de Wiesnegg. Les tournures étaient d'un blanc éblouissant. A la mesure de leur poids spécifique, ils ont donné les résultats suivants :

Poids des tournures dans l'air	90gr,702
Perte de poids dans l'eau	8,649
Température de l'eau	14°,0
Baromètre réduit à 0°	0m,768.4
Température de l'air de la balance	12°,5
Point de rosée de l'air de la balance	8°,2

$D_0 = 10,470\,64$ $V_0 = 0,095\,505\,1$

VII.

Argent pulvérulent.

1° *a*. Argent pulvérulent provenant de la réduction d'une solution d'azotate d'argent sur une solution bouillante d'acétate et de formiate *acides* d'ammonium. L'argent, après lavage, a été maintenu à 100° dans de l'air sec jusqu'à point constant. Le métal, refroidi dans l'air sec, est hygrométrique.

Poids dans l'air de l'argent	52gr,195
Perte de poids dans l'eau	5,028.5
Température de l'eau	14°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,758.53
Température de l'air de la balance	18°,0
Point de rosée de l'air de la balance	14°,8

$D_0 = 10,363\,303$ $V_0 = 0,096\,494\,3$

b. L'argent pulvérulent précédent, après avoir été séché à 100°, fut introduit dans une capsule mince de platine, qui, lors de la pesée de l'argent, avait été placée dans la corbeille d'argent immergée dans l'eau remplissant la cucurbite pendant la pesée du métal.

La capsule de platine contenant l'argent pulvérulent fut remplie d'eau de manière à submerger le métal, et placée ensuite sous une cloche dans laquelle on fit le vide et dans laquelle on a maintenu le vide tant que la poudre

Digitized by Google

submergée a dégagé trace de gaz. Ce résultat étant atteint, la capsule de platine a été descendue avec précaution dans la corbeille immergeant dans l'eau de la cucurbite qui, après avoir été portée à l'ébullition, était à peine refroidie. On a fait bouillir ensuite, pendant quelques minutes, l'eau de la cucurbite pour chasser l'air adhérent à la paroi externe de la capsule de platine reposant dans la corbeille submergée. On a procédé enfin au refroidissement rapide de tout le système. A la pesée hydrostatique, on a obtenu les résultats suivants :

Poids dans l'air de l'argent pulvérulent	52gr,068
Perte de poids dans l'eau	5,013
Température de l'eau	17°,6
Baromètre réduit à 0°	0m,761.51
Température de l'air de la balance	17°,0
Point de rosée de l'air de la balance	14°,1

$D_0 = 10,365\,442$ $V_0 = 0,096\,474\,4$

2° Argent pulvérulent provenant de la réduction du chlorure d'argent pur par une solution *bouillante* d'hydroxyde de sodium à 10 °/o et de saccharose. Le métal réduit, après un lavage à l'eau et un traitement subséquent à l'eau acidulée à l'acide acétique pur, suivi d'un lavage à l'eau ammoniacale, a été séché dans un vase d'argent à la température de 150° et refroidi ensuite à l'air sec. Pour la pesée hydrostatique, on a suivi le mode indiqué ci-dessus n° 1, littera *b*, et l'on a obtenu les résultats suivants :

Poids de l'argent pulvérulent dans l'air	43gr,147.2
Perte de poids dans l'eau	4,117
Température de l'eau	18°,4
Baromètre réduit à 0°	0m,762.53
Température de l'air de la balance	18°
Point de rosée de l'air de la balance	11°,45

$D_0 = 10,459\,163$ $V_0 = 0,095\,609\,9$

3° Argent pulvérulent provenant de la réduction, à 70°, d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent par *un excès* de solution ammoniacale de sulfite cuivreux. Le métal, préparé en 1861, était d'une ténuité extrême. Après avoir été mis successivement en digestion avec de l'eau contenant

Digitized by Google

2 °/₀ de son volume d'ammoniaque liquide saturée de sesqui-carbonate jusqu'à ce que tout le cuivre adhérent fût enlevé, et après avoir été traité à l'eau acidulée à l'acide sulfurique, puis à l'eau acidulée à l'acide fluorhydrique et enfin lavé à l'eau pure, il a été séché à 100°. Le métal, très fin et plastique, était d'un blanc grisâtre.

Pour sa pesée hydrostatique, on a suivi le mode indiqué ci-dessus n° 1, littera *b*, et l'on a obtenu les résultats suivants :

Poids dans l'air de l'argent	43gr,321
Perte de poids dans l'eau	4,189
Température de l'eau	16°,8
Baromètre réduit à 0°	0m,769.88
Température de l'air de la balance.	15°,0
Point de rosée de l'air de la balance	9°,1

$D_0 = 10,321\,73$ $V_0 = 0,096\,882\,9$

4° L'argent pulvérulent provenait de la réduction, à 100°, d'une solution d'azotate d'argent pur, par une solution d'hydroxyde de sodium et de saccharose, ainsi qu'il est dit dans la notice n° III, pages 28 et suivantes. Le métal réduit, après avoir été lavé à la trompe jusqu'à disparition complète de l'hydroxyde de sodium, a été traité successivement à l'eau acidulée, à l'acide acétique, puis à l'eau ammoniacale, et enfin, essoré à la trompe. L'argent ainsi obtenu étant fort hygroscopique, a été maintenu toute une journée à 150°. Pour la mesure de son poids spécifique, on a suivi le mode indiqué ci-dessus n° 1, littera *b*, et l'on a obtenu les résultats suivants :

Poids de l'argent dans l'air	39gr,934
Perte de poids dans l'eau	3,823
Température de l'eau	16°,2
Baromètre réduit à 0°	0m,745.07
Température de l'air de la balance.	16°,5
Point de rosée de l'air de la balance	11°,8

$D_0 = 10,426\,87$ $V_0 = 0,095\,906\,0$

Digitized by Google

RÉSULTATS [1].

Pour rendre la comparaison des résultats plus commode, on a dressé les tableaux de récapitulation qui suivent :

1er TABLEAU.

Argent en barreaux, blocs, disques ou lames.

	D_0	V_0
1. *a*. Argent coulé : bout de la coulée.	10,423 754	0,095 934 7
b. Le même, chauffé dans le vide	10,436 187	0,095 820 4
2. *a*. Argent coulé, milieu, chauffé au rouge	10,448 742	0,095 705 3
b. Le même, comprimé et frappé	10,496 230	0,095 272 3
c. Le même, recuit au rouge.	10,482 241	0,095 399 4
d. Le même, après frappe nouvelle	10,501 536	0,095 224 2
e. Le même, chauffé dans le vide	10,491 148	0,095 318 4
3. *a*. Bout de latte privé de gaz.	10,547 243	0,094 811 5
b. Le même, laminé.	10,481 124	0,095 409 6
c. Le même, recuit.	10,488 414	0,095 343 3
4. Argent distillé privé de gaz	10,539 011	0,094 885 5
5. *a*. Argent préparé par v. Liebig (1858)	10,487 130	0,095 354 9
b. Le même, chauffé dans le vide	10,475 500	0,095 460 8
6. *a*. Argent chauffé dans le vide.	10,540 34	0,094 873 6
b. Le même, laminé.	10,487 48	0,095 351 7

L'argent privé de gaz a donc, manifestement, un poids spécifique plus grand; celui-ci atteint 10,539 011 ; 10,540 34 ou même 10,547 243. En soustrayant du volume de l'échantillon le moins dense, 0,095 934 7, le volume du plus dense, 0,094 811 5, on a pour résultat

$$1^{cc},1232 ;$$

pour savoir si cette différence de volume correspond à du gaz occlus ou à du gaz reclus, il suffit de la rapprocher du volume de gaz qu'il a été possible d'extraire, par kilogramme de métal, en exposant l'argent au rouge, dans le vide. Ce volume a varié de 3 centimètres cubes à $19^{cc},1$. On doit donc en conclure que tout le gaz ne se dégage pas du métal sous forme de

[1] Ces dernières pages n'ont pas été rédigées par Stas. (Voir la note des pages 141-142.)

Digitized by Google

bulles, à moins d'admettre que celles-ci se trouvent sous une pression très forte au moment où elles se forment, pression pouvant atteindre environ 19 atmosphères. Si cette supposition était conforme à la réalité des faits, on devrait arriver, par une compression et une frappe à outrance, à rendre au métal sa densité maxima. Un recuit devrait ensuite reproduire sensiblement la densité première. Il n'en est pas ainsi : la diminution de volume due à la frappe n'a été que de $0^{cc},433$; l'augmentation de volume due au recuit subséquent, seulement de $0^{cc},127\,1$, et une frappe nouvelle ne la réduit que de $0^{cc},175\,2$.

Il est donc probable que la plus grande partie des gaz dissous à chaud se trouvent dans le métal refroidi à l'état de gaz *occlus*, c'est-à-dire *dissous*.

Un fait remarquable se dégage encore du tableau précédent. Les échantillons les plus denses ont augmenté de volume par le laminage. Cette augmentation a été de $0^{cc},598\,1$ une première fois et de 0,478 1 une seconde fois. Le recuit suivant, loin d'augmenter le volume, l'a diminué de $0^{cc},066\,3$.

2e TABLEAU.

Argent en grains et en grenailles.

	D_0	V_0
a. Argent chauffé au rouge	10,292 15	0,097 161 4
b. Le même, chauffé dans le vide	10,300 35	0,097 084 0
b'. Le même, après ébullition de l'eau dans le vide . .	10,291 68	0,097 165 8
c. Grains chauffés au rouge dans l'hydrogène	10,311 94	0,096 974 9

Ces grains avaient été obtenus en coulant l'argent dans de l'eau. La densité plus faible de ce métal tend à faire supposer que, par le refroidissement brusque, l'argent s'est conservé, en partie, sous l'état plus dilaté qu'il avait pris par l'action de la température élevée à laquelle il avait été soumis. La faible augmentation du poids spécifique due à l'expulsion des gaz dissous par l'exposition du métal au rouge soit dans le vide, soit dans l'hydrogène, vient à l'appui de cette conclusion.

Au surplus, la proportion de gaz trouvée dans l'argent en grenailles (pages 112 et suivantes) variant de $5^{cc},10$ à $26^{cc},60$, ne suffit pas à expliquer la faible diminution de volume entre les échantillons *a*, *b* et *b'* de ce tableau.

Digitized by Google

3e TABLEAU.

Culots d'argent fondus dans une coupelle de phosphate de calcium.

		D_0	V_0
1.	Culots fondus dans une atmosphère réductrice. . .	10,199 06	0,098 048 2
2	*a.* Idem, provenant d'argent réduit à froid . . .	10,180 49	0.098 227 0
	b. Le même, comprimé et frappé	10,483 15	0,095 391 1
	c. Le même, après recuit	10,476 71	0,095 449 8
	d. Le même, après 15 coups de balancier	10,487 23	0,095 354 0
	e. Le même, recuit dans le vide.	10,479 77	0,095 421 9
	f. Argent du nº 2 chauffé dans le vide.	10,198 74	0,098 051 3
3.	*a.* Argent réduit à 70r, fondu dans la chaux . . .	10,005 95	0,099 940 5
	b. Le même, frappé	10,488 06	0,095 346 5
	c. Le même, recuit	10,378 16	0,096 356 2
4.	*a.* Argent réduit à froid, fondu en milieu réducteur.	9,860 447	0,101 415 2
	b. Le même, frappé	10,487 87	0,095 438 2
	c. Le même, recuit	10,476 82	0,095 448 8
	d. Le même, frappé et recuit dans le vide.	10,436 60	0,095 816 6

Les nombres de ce tableau montrent l'influence exercée sur le poids spécifique de l'argent par les gaz chauds mis au contact de l'argent pendant la fusion. Le poids spécifique s'est abaissé jusque 10,180 49 (nº 2, *b*) et même 9,860 447 (nº 4 *a*); la compression a relevé ce poids jusque 10,487 87 sans qu'un recuit subséquent ne le diminue d'une manière notable. La différence de volume spécifique s'établit par $5^{cc},977$ à $2^{cc},835\,9$. Bien que cette différence soit plus grande que celle déduite du premier tableau, elle ne suffit cependant pas pour permettre de regarder les gaz comme reclus exclusivement : la plus grande partie est occluse. La compression, ou la frappe, n'est pas en état de ramener le métal à une densité aussi grande que celle que l'on a constatée d'après le premier tableau.

Digitized by Google

4e TABLEAU.

Culots fondus sous un flux de chlorure de calcium.

	D_0	V_0
1. *a*. Culot fondu.	10,498 52	0,095 251 5
b. Le même, frappé	10.502 89	0,095 211 9
c. Le même, frappé à outrance	10,504 37	0,095 198 4
d. Le même, recuit	10,503 806	0,095 203 5
e. Le même, recuit dans le vide.	10,506 107	0,095 182 7
f. Le même, laminé	10,499 19	0,095 245 4
g. Le même, recuit	10,505 10	0,095 191 8
2. *a*. Culot obtenu par M. Rommelaere	10,453 422	0,095 662 4
b. Le même, frappé	10,492 515	0,095 306 0
c. Le même, recuit	10,489 684	0,095 331 7
d. Le même, frappé à outrance	10,500 406	0,095 234 4
e. Le même, recuit	10,499 033	0,095 246 8
f. Le même, chauffé dans le vide	10,495 68	0,095 277 2

Ce tableau confirme les conclusions tirées du précédent : l'argent ayant été fondu sous un flux, s'est trouvé plus ou moins complètement soustrait à l'influence directe des gaz ; son poids spécifique ne s'est abaissé, dans aucun cas, aussi bas que dans le cas d'une fusion *à nu*. Bien plus, la frappe n'a produit qu'un faible effet sur l'augmentation du poids spécifique, de même que le recuit n'a pu diminuer notablement ce poids.

Remarquons encore l'abaissement du poids spécifique à la suite du *laminage*, ainsi que sa reprise par le recuit subséquent (comp. n° 1, *f* et *g*).

5e TABLEAU.

Culots fondus sous un flux de borax.

	D_0	V_0
1. Argent pulvérulent fondu	10,328 934	0,096 815 4
2. Le même, refondu	10,427 121	0,095 903 7
3. Argent réduit par le sucre, fondu simplement. . .	10,177 023	0,098 260 5
4. Le même, fondu sous le borax	10,487 567	0,095 351 0

6e TABLEAU.

Tournures du culot précédent	10,470 64	0,095 505 1

Les conclusions à tirer de ces tableaux 5 et 6, nous paraissent être les mêmes que celles du tableau 4.

Digitized by Google

7e TABLEAU.

Argent pulvérulent.

	D_0	V_0
1. *a*. Argent réduit par le formiate.	10,363 303	0,096 494 3
b. Le même, après ébullition de l'eau.	10,365 442	0,096 474 4
2. Argent réduit par le sucre.	10,459 163	0,095 609 9
3. Argent réduit par le sulfite de cuivre	10,321 73	0,096 882 9
4. Argent réduit par le sucre à 100°	10,426 87	0,095 906 0

Les nombres de ce dernier tableau montrent que si, à la vérité, le poids spécifique de l'argent de différentes provenances est un peu inférieur à celui de l'argent fondu sous un flux, ou de l'argent frappé, il est cependant notablement plus élevé que celui de l'argent fondu dans un courant de gaz. Il paraît, en conséquence, que c'est bien pendant l'acte de la fusion que les gaz se dissolvent dans le métal. Ils y restent alors, pour la plus grande partie, à l'état de gaz occlus, c'est-à-dire dissous.

Digitized by Google

RECHERCHES CHIMIQUES

ET

ÉTUDES SPECTROSCOPIQUES

SUR

DIFFÉRENTS CORPS SIMPLES

NOUVELLE DÉTERMINATION

DU RAPPORT PROPORTIONNEL ENTRE L'ARGENT ET LE CHLORURE DE POTASSIUM

PAR

J.-S. STAS

MEMBRE DE L'ACADÉMIE

(Œuvre posthume, présentée à la Classe des sciences par M. W. Spring, dans la séance du 5 novembre 1892.)

Digitized by Google

Digitized by Google

INTRODUCTION.

En terminant l'introduction de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques, etc.*, j'ai mis en parallèle les poids atomiques rapportés, d'une part, à l'oxygène pris *hypothétiquement* égal à 16, et, d'autre part, à l'hydrogène pris pour *unité*.

Pour arriver à ce résultat, j'ai corrigé le poids atomique de l'oxygène de la différence qui existe entre le chiffre admis hypothétiquement et celui déduit de l'expérience. En tenant compte des travaux exécutés sur la composition de l'eau, des mesures du poids spécifique de l'oxygène et de l'hydrogène, enfin de la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium, j'ai fixé à 15,96 le poids atomique de l'oxygène, l'hydrogène étant égal à l'UNITÉ. Considérant seulement comme certaines les deux premières décimales, j'ai négligé les fractions.

Se fondant sur le poids spécifique de l'hydrogène, mesuré par V. Regnault, et le poids de l'eau produit par 1 litre d'hydrogène à 0° et 0,760 de pression, M. Thomsen, de Copenhague, est arrivé, en 1870, au chiffre de 15,9605 [1].

M. Mallet, dans son magnifique travail sur le poids atomique de l'aluminium [2], admet la valeur de 15,961. MM. Lothar Meyer et Seubert, prenant en considération tous les travaux exécutés, regardent le chiffre 15,9616 comme le plus rapproché de la vérité. Enfin, partant des mêmes données, M. Clarke, dans son livre *Sur la revision des poids atomiques*, considère comme valeur la plus probable le chiffre 15,9633. Je n'ai pas l'intention

[1] *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.* Berlin, 1870.

[2] *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, année 1880.

Digitized by Google

de discuter ici le chiffre qui ressort de tous les travaux entrepris pour déterminer le poids atomique de l'oxygène en fonction de l'hydrogène pris pour *unité*. Du reste, pour la question que je veux examiner actuellement, il importe peu que la valeur de l'oxygène soit 15,960, ou 15,961, ou 15,962 ou 15,963..., du moment qu'il est inférieur à 16,00, cela suffit. Or, tous ceux qui ont étudié cette question fondamentale admettent cette conclusion; de plus ils sont d'accord sur les *deux premières décimales*.

Du fait constaté que des poids atomiques déterminés en fonction de l'hydrogène rapportés à l'oxygène représenté par 15,96 se rapprochent d'un multiple de l'hydrogène, des chimistes ont cru pouvoir conclure que l'hypothèse de Prout peut être l'expression d'une loi naturelle. Je dois donc rechercher quelle est la véritable interprétation de cette hypothèse. A cet effet, je suis obligé de remonter à son origine et de faire connaître l'opinion que s'en sont faite ses contemporains. Gay-Lussac, en rendant compte, dans les *Annales de chimie et de physique* (année 1816), du mémoire anonyme intitulé : *De la relation qui existe entre la pesanteur spécifique des corps dans leur état gazeux et les poids de leurs atomes*, résume de la manière suivante l'idée de Prout : « C'est en calculant ainsi la densité de toutes les substances élémentaires supposées à l'état gazeux que l'auteur arrive à ce résultat singulier : que les pesanteurs spécifiques de tous les corps à l'état de gaz, rapportées à l'hydrogène, peuvent être exprimées exactement par des nombres entiers, dont le plus élevé, qui est relatif à l'or, serait 200. »

La table des poids atomiques donnée à l'appui de l'hypothèse, renferme notamment les pesanteurs spécifiques, l'hydrogène étant 1; l'oxygène 16; l'azote 14; le chlore 36; l'iode 124, et le poids de l'atome de ces corps, l'oxygène étant 20; l'hydrogène 1,25; l'oxygène 20; l'azote 17,5; le chlore 45; l'iode 155; c'est-à-dire des *nombres entiers*, multiples de l'hydrogène.

Thomas Thomson, professeur de Glasgow, qui publia un livre [1] pour prouver l'exactitude de l'hypothèse émise par Prout, s'exprime ainsi [2] :

« 1. L'hydrogène est le plus léger de tous les corps connus.

[1] *Principes de la Chimie*, etc., traduit de l'anglais. 2 vol. in-8°. Paris, 1825.
[2] Tome II, chapitre XIX, page 428.

Digitized by Google

» 2. Les pesanteurs atomistiques de tous les corps simples sont multiples de 0,25 = 2 atomes d'hydrogène.

» Conséquemment, le nombre qui dénote la pesanteur atomistique de chacun d'eux est un nombre entier, ou un nombre mixte terminé par l'une ou par l'autre de ces décimales : 0,25; 0,5; 0,75, etc. »

Ces nombres sont conformes à ceux insérés par Prout dans le tableau dont j'ai extrait les chiffres relatifs à l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le chlore et l'iode.

Berzelius démontra le premier l'inexactitude de beaucoup de faits publiés par Thomas Thomson à l'appui de poids atomiques multiples par un nombre entier de celui de l'hydrogène, et il a défini l'hypothèse de Prout absolument comme Gay-Lussac.

Enfin Dumas l'a comprise de la même manière; la preuve en est dans les différents écrits publiés par lui. Il a persisté dans cette opinion jusqu'à la fin de sa vie. Seulement, ayant constaté, par sa propre expérience, que l'unité de Prout était trop élevée, et développant la pensée de M. De Marignac, il a admis que tous les poids atomiques sont multiples par 1, par 0,50 ou par 0,25 de l'hydrogène, comme l'exige le principe de la simplicité des rapports et leur commensurabilité.

Ainsi tous les contemporains du chimiste anglais ont interprété son hypothèse d'une seule et même manière.

J'ai dit plus haut que quelques chimistes ayant constaté que des poids atomiques déterminés par eux en fonction de l'hydrogène rapporté à l'oxygène représenté par 15,96, se rapprochent d'un multiple de l'hydrogène par un nombre entier, ont cru pouvoir conclure en faveur de l'hypothèse de Prout.

C'est là évidemment une erreur; cette hypothèse exige que l'oxygène soit égal à 16. Je ne veux pas insister davantage sur ce point. L'exposé fait plus haut de l'interprétation à donner à l'idée de Prout doit suffire. Si l'on peut admettre que certains poids atomiques ont l'hydrogène pour commun diviseur, on ne saurait prétendre avec raison qu'il en est de même de l'azote, du brome, du chlore, de l'iode, de l'argent, du potassium, etc., l'oxygène étant représenté par 16 ou par un sous-multiple de ce nombre. Du reste,

Digitized by Google

V. Regnault a exprimé, il y a plus de trente ans, l'opinion qu' « il est possible qu'il n'y ait qu'un groupe de corps simples dont les équivalents soient des multiples de celui de l'hydrogène, et que, pour tous les autres, leurs équivalents soient des multiples de l'équivalent d'un autre corps simple, ou même, qu'ils soient représentés par une somme dont l'un des termes soit un multiple de l'équivalent de l'hydrogène, et dont les autres termes soient des multiples des équivalents d'un ou de plusieurs autres corps simples. »

Quoi qu'il en soit du sort que l'avenir réserve à ces hypothèses, dans l'incertitude où l'on est du rapport exact de l'hydrogène à l'oxygène, et en attendant que ce rapport ait été fixé par des expériences dont les résultats soient indiscutables, il convient, à mon avis, de déterminer les poids atomiques des corps en partant d'un *chiffre hypothétique*. Eu égard aux nécessités de l'expérimentation, je pense qu'il faut s'en tenir à l'oxygène, ainsi que M. De Marignac l'a déjà proposé. En effet, lorsqu'il s'agit de contrôler le fondement d'une hypothèse, celle de Prout ou toute autre, il est logique de comparer directement le résultat de l'expérience à l'hypothèse.

Berzelius et Dumas ont toujours agi ainsi. Si l'on rapporte les poids atomiques à l'hydrogène, on est en présence d'une *double* hypothèse dont l'une présuppose le rapport simple de l'hydrogène à l'oxygène, et dans ce cas on est toujours devant des résultats contradictoires.

Dans son mémoire sur le poids atomique de l'aluminium, M. Mallet, frappé du fait que plusieurs poids atomiques déterminés avec soin se rapprochent de nombres entiers, a rappelé l'observation de M. De Marignac, qu'il doit y avoir une raison pour le retour fréquent de nombres différant si peu de ceux nécessités par cette loi; il est d'avis que non seulement cette loi n'est pas jusqu'ici absolument renversée, mais qu'il y a une forte probabilité en sa faveur, ou en faveur de quelque modification de celle-ci. Il dit toutefois qu'une exception distincte à la loi supposée la réfuterait, si cette exception était elle-même pleinement prouvée, ce qui, d'après lui, n'est pas le cas.

Ce n'est pas le lieu d'examiner ici, en détail, l'admirable travail de M. Mallet. Cependant, qu'il me soit permis de faire remarquer que les résultats consignés dans ce mémoire doivent susciter des doutes légitimes dans l'esprit et

Digitized by Google

poser la question de savoir si la simplicité de rapports, présupposée par l'hypothèse, s'observe toujours. Si tout porte à croire que le poids atomique de l'aluminium, déterminé *directement* en fonction de l'hydrogène, est 27,00 et, partant, s'accorde strictement avec l'hypothèse de Prout, en présence des résultats fournis par la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le bromure d'aluminium, il n'est pas possible d'admettre que cet accord existe. En effet, ce poids atomique n'est plus 27,00, mais 27,15. Cette fraction 0,15, c'est-à-dire $^1/_{180}$ du poids atomique, est *six fois* plus forte que l'écart moyen constaté par M. Mallet dans ses déterminations.

Cet écart doit avoir sa cause. A mon avis, cette cause réside dans les poids atomiques vrais de l'argent et du brome, qui sont inférieurs à ceux nécessités par la loi de Prout. En examinant, sous le même point de vue, le travail présenté par M. Thorpe, le 22 novembre 1883, à la Société royale de Londres, sur le poids atomique du *titanium*, on arrive à des résultats et à une conclusion analogues.

En effet, pour ramener ce poids atomique à 48,00, M. Thorpe est forcé de prendre l'oxygène égal à 15,96169, le chlore égal à 35,36 et l'argent égal à 107,67, l'hydrogène étant 1; il abandonne donc les nombres entiers et un sous-multiple de l'hydrogène. Mais je ne veux pas insister davantage.

En 1878, c'est-à-dire trois années avant de connaître le mémoire de M. Mallet, j'ai, sur le désir exprimé par M. Lockyer[1], pris le parti de soumettre à une étude nouvelle certains composés de *potassium*, de *lithium*, de *calcium*, de *strontium*, de *baryum*, de *thallium*, dans le but de m'assurer s'il est possible d'obtenir ces composés privés complètement de *sodium*, et, dans l'affirmative, si ces composés, portés ensuite à la température la plus élevée possible, sont susceptibles de se dissocier de manière à se résoudre en sodium et en d'autres corps ayant un spectre connu ou un spectre inconnu.

En ce qui concerne spécialement le potassium, j'avais également pour but, ainsi que je l'ai exposé en commençant cette introduction, de déterminer à nouveau le rapport proportionnel entre le chlorure de potassium et l'argent, dépouillés l'un et l'autre de matières étrangères. Cette résolution avait été

[1] Correspondance privée.

Digitized by Google

motivée par la conviction, partagée par tous les chimistes, que le poids moléculaire du chlorure de potassium est inconciliable avec l'hypothèse de Prout. J'ai donc été ainsi au-devant du désir de M. Mallet qui demande, pour se convaincre, *une exception pleinement prouvée.*

J'arrive maintenant à la partie de mon travail relative aux recherches chimiques et spectroscopiques. Ces études ont spécialement porté sur l'argent et sur les composés de *sodium*, de *potassium*, de *lithium*, de *calcium*, de *strontium*, de *baryum* et de *thallium*. J'ai déjà résumé plus haut les recherches exécutées sur l'argent et sur les composés du potassium; je n'ai plus à y revenir.

Le hasard a voulu que l'air de la vaste salle dans laquelle j'ai travaillé fût d'une *pureté exceptionnelle*, lorsque j'ai commencé mes travaux, vers la fin de 1878. Sans cette circonstance fortuite, je n'aurais certes pas osé les entreprendre. Aussi ai-je appris à mes dépens l'influence de la pureté relative de l'air sur le contenu en sodium des composés chimiques préparés en présence de l'air ambiant, et sur l'apparition de la raie sodique dans le spectre de flamme de la lampe de Bunsen, de l'hydrogène, du chalumeau aérhydrique, oxyhydrique ou oxycarbohydrique brûlant ou lancé dans l'air. Il m'est impossible de résumer toutes les observations que j'ai faites à ce sujet, et d'exposer les difficultés contre lesquelles j'ai eu à lutter. Je dois me borner à dire que les composés chimiques, préparés en présence de l'air du laboratoire *très vaste* et bien ventilé dans lequel j'ai opéré, introduits dans une flamme ne donnant elle-même, à l'analyse prismatique, aucune trace de raie sodique D, ont fourni, *sans exception aucune*, des signes persistants et plus ou moins intenses de la présence du sodium, et que ces mêmes composés, obtenus dans de l'air confiné et convenablement *purifié*, ont donné d'abord des signes plus ou moins intenses de la présence du sodium, mais qui finissent par disparaître après la volatilisation d'une partie assez variable de la substance soumise à l'essai. L'observation constante m'a démontré que les composés de lithium, de calcium, de strontium et de baryum, renfermant des traces seulement d'*acide silicique*, introduits dans une flamme, font apparaître indéfiniment le spectre sodique, absolument comme le fait se présente pour les composés potassiques silicifères. Ces mêmes composés, privés au

Digitized by Google

préalable d'acide silicique, peuvent être purifiés de manière à ne plus fournir trace de spectre sodique. Ainsi, par exemple, le spath d'Islande, le plus pur, toujours très légèrement silicifère [1], donne au gaz oxhydrique *indéfiniment* la raie sodique D, comme il est facile de s'en assurer. Après avoir soigneusement éliminé la silice, le carbonate calcique, obtenu à l'aide de ce spath, dans l'air dépouillé de poussières silicifères, produit au dard oxhydrique, après l'élimination du sodium existant sous un état autre que celui de silicate, une flamme calcique dans laquelle l'analyse prismatique est impuissante à reconnaître la raie sodique D.

Autant que possible, j'ai eu recours à des composés de lithium, de calcium, de strontium, de baryum et de thallium, d'origines différentes et produits à l'aide de méthodes variées, pour les répandre dans les flammes ou dans l'étincelle, ou la décharge ou l'arc électrique, et soumettre celle-ci à l'analyse prismatique. Je ne puis résumer ici ni ces origines, ni ces méthodes. Je prie les chimistes qui désirent se renseigner à ces sujets de lire les notices spéciales consacrées à la préparation des composés lithiques, calciques, strontianiques, barytiques et thalliques. Ils se convaincront par cette lecture que j'ai eu beaucoup de difficultés à vaincre et que je n'ai reculé devant aucune peine ni aucune perte de temps.

Mes recherches d'analyse spectrale ont été précédées de l'étude de l'air dans lequel j'avais à opérer et de l'étude de la flamme de la lampe de Bunsen, de l'hydrogène, du chalumeau aérhydrique, oxhydrique et oxycarbohydrique. L'étude de l'air m'a permis de constater que c'est exceptionnellement qu'on rencontre à Bruxelles de l'air privé suffisamment de sodium pour que l'analyse spectrale d'un gaz en combustion n'y décèle pas la raie sodique. Ce fait se présente seulement après quelques jours de pluie et lorsque l'atmosphère, au *repos*, reste *saturée* d'humidité. Dans l'espace de dix années, je n'ai rencontré pendant l'été qu'*une seule fois* l'air ambiant réalisant cette condition. J'ai observé celle-ci, terme moyen, pendant quarante jours vers la fin de chacune de ces dix années. Dans ce cas, l'air extérieur, amené la veille dans

[1] Le spath calcaire ainsi que l'arragonite contiennent de $^1/_{7000}$ à $^1/_{8000}$ de leur poids d'acide silicique.

une *vaste salle* voûtée, dont le sol est tenu proprement par des lavages à l'eau, à l'abri de tout mouvement et de toute trépidation de la voûte, reste non sodique pour les *flammes* au moins *une heure et demie* dans la matinée. Je n'ai jamais trouvé l'air du vaste laboratoire du Musée de l'Industrie assez privé de sodium pour ne pas constater dans le spectre des flammes trace de raie sodique [1].

Lorsqu'on a la chance d'avoir de l'air pur, une lampe de Bunsen, bien construite, y brûle avec une flamme d'un *bleu foncé,* donnant à l'analyse prismatique un espace spectral *obscur;* l'hydrogène brûle dans cet air pur avec une flamme *incolore, obscure.* Dans l'air *contaminé,* au contraire, la flamme d'une lampe de Bunsen, bien construite, vire du bleu foncé à l'indigo, et de l'indigo au rouge, parsemée parfois d'étincelles jaunes brillantes, suivant l'état d'impureté; la flamme de l'hydrogène y devient lumineuse et sensiblement colorée en rouge pâle ou en jaune, quoique émanée d'un ajutage de platine pur ou d'or pur.

Dans l'air *pur,* le gaz d'éclairage mêlé d'oxygène, en quantité suffisante seulement pour le priver de son pouvoir éclairant, brûle avec une flamme d'un *bleu pâle;* il en est de même de l'hydrogène pur, qui, en devenant *incandescent,* se colore en *bleu d'azur.* Dans ces cas, l'analyse prismatique des flammes ne permet pas de découvrir le spectre sodique de flamme. Dans l'air *contaminé,* au contraire, ces combustions sont toujours accompagnées d'altérations de la couleur des flammes, qui virent plus ou moins au pourpre, et par l'analyse spectrale on retrouve constamment la raie sodique D, et parfois les raies caractéristiques du calcium.

J'ai reconnu que pour empêcher l'air contaminé d'imprimer aux flammes le caractère sodique, il suffisait, soit de le conserver vingt-quatre heures confiné dans de grands gazomètres sur l'eau privée de matières organiques

[1] Depuis la rédaction de cette Introduction, j'ai eu l'occasion de constater, à plusieurs reprises, l'absence de la raie sodique dans le spectre de flamme d'une lampe de Bunsen brûlant dans l'air du cabinet de spectroscopie de M. Depaire, situé au premier étage de l'École de pharmacie à Bruxelles. L'air de ce cabinet est presque toujours entre $^{8}/_{10}$ et $^{9}/_{10}$ de la saturation aqueuse. J'y ai observé aussi que, lorsque l'air *extérieur* est saturé d'humidité et que l'air du cabinet est à $^{95}/_{100}$ de la saturation, l'analyse prismatique d'une décharge entre des sphéroïdes de platine pur, ne permet pas d'apercevoir la raie sodique.

Digitized by Google

et rendue alcaline par la chaux ou la baryte pour absorber l'anhydride carbonique, soit de mêler l'air de son volume environ de vapeur d'eau dépouillée de matières organiques et de condenser ensuite celle-ci par le passage du mélange entre des surfaces métalliques refroidies.

Je me permets de renvoyer pour les détails opératoires à la notice consacrée à ce sujet. *Je n'ai pas trouvé par l'analyse prismatique les raies sodiques dans la décharge électrique d'une puissante bobine de Ruhmkorff au travers de l'air purifié de cette manière.* J'ai observé les raies sodiques D et D_1 dans la décharge de la même bobine de Ruhmkorff au travers de l'air alimentant au même moment une lampe de Bunsen, sans que l'analyse prismatique de la flamme permît de reconnaître trace de raie sodique D. J'ai fait cette constatation accidentellement, lors de mes études sur le spectre électrique du lithium. Dans la notice consacrée aux spectres lumineux du lithium, j'expose les observations faites à ce sujet. Il est constant, à mes yeux, que l'air dit pur, à la lampe de Bunsen, est simplement dans un état relatif de pureté, et que le sodium s'y trouve en quantité inférieure à celle qui peut être constatée par le moyen employé : l'analyse spectrale d'une flamme qui y brûle. L'expérience ultérieure décidera si, par les deux méthodes auxquelles j'ai eu recours, on peut se procurer de l'air *complètement* privé de sodium.

Il résulte de mes observations que dans l'air de la ville de Bruxelles et de ses environs sud-est, le sodium existe sous trois formes différentes : 1° à l'état soluble dans l'eau; 2° à l'état de poussières organiques sodées; 3° à l'état de poussières minérales insolubles. La poussière déposée dans une grande maison de campagne des environs sud-est et éloignée de toute agglomération d'habitations, non habitée pendant les mois d'hiver, était composée de chlorure et de sulfates sodique et calcique, de matières organiques sodées, de carbonate calcique, de silice sableuse et de silicates d'aluminium, de calcium, de sodium avec traces de fer. J'ai été impuissant à constater, dans ces poussières, la présence du potassium.

Quant aux moyens d'observation et d'expérimentation auxquels j'ai eu recours, tant pour la recherche du sodium que pour m'assurer si les corps sur lesquels j'opérais sont susceptibles d'être dissociés, je me permets de renvoyer le lecteur aux notices intitulées : 1° *Des caractères imprimés par*

Digitized by Google

l'air ambiant aux flammes de l'hydrogène, du gaz d'éclairage, du dard aérhydrique, du dard oxyhydrique, du dard oxycarbohydrique à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques; 2° *Des moyens employés pour réduire en vapeur les métaux et leurs composés;* 3° *Des supports employés pour l'introduction des composés dans les flammes, l'étincelle, la décharge et l'arc électriques;* 4° *Des spectroscopes;* 5° *De l'essai sur la nature et la quantité de matières minérales solubles et insolubles existant dans l'air du haut de la ville de Bruxelles et dans l'eau de pluie, à des moments et dans des conditions donnés.*

Il me reste à résumer mon travail chimique et spectroscopique. J'ai cherché d'abord s'il est possible d'obtenir des métaux et des composés métalliques privés entièrement de sodium; ensuite si ces corps portés dans les flammes à la température la plus élevée possible, celle du *chalumeau oxhydrique,* ou dans l'étincelle, la décharge, ou l'arc électrique, ne fournissent pas, à l'analyse prismatique, le spectre caractéristique du sodium dans les flammes et dans l'arc électrique. J'ai constaté *avec certitude* qu'on peut se procurer de l'*argent,* du *platine,* de l'*iridium,* du *mercure,* du *thallium,* de l'*oxyde de lithium,* de *calcium,* de *strontium,* de *baryum,* de *thallium,* ne contenant pas trace de sodium, et que les vapeurs de ces métaux et de leurs composés métalliques convenablement purifiés, chauffées au *dard oxhydrique,* au point de *fusion* de l'iridium, qui correspond à la température la plus élevée à laquelle on peut atteindre *par des actions chimiques,* ne donnent aucune trace de spectre sodique, lorsque l'air dans lequel l'opération s'exécute est lui-même privé de sodium. L'observation constante m'a démontré que toutes les fois que dans l'essai d'un corps autre que le sodium ou un composé de sodium, on constate la raie sodique, ce métal existe à l'ÉTAT D'IMPURETÉ, soit dans le corps, soit dans le milieu dans lequel la recherche s'effectue.

Sous l'influence du dard oxhydrique, les corps désignés ci-dessus ne se dissocient donc point de manière à donner naissance à du sodium. Je n'ai aucun doute sur la rigoureuse exactitude de cette conclusion, *bien entendu en se renfermant dans les conditions où il m'a été possible d'expérimenter.*

En me fondant sur l'analyse spectrale des flammes, je dois conclure aussi que les métaux et les composés métalliques cités plus haut ne se dissocient point de manière à passer *les uns dans les autres ou en d'autres corps.*

Digitized by Google

En réalité, l'élévation de la température des flammes a pour effet de *compléter le spectre calorifique propre à chaque corps* et de donner un éclat et une intensité lumineuse plus grands; mais cette élévation est impuissante à faire disparaître des raies apparues à température moins élevée. *La physionomie d'un spectre de flamme d'un corps est fonction de la température actuelle du milieu analysé prismatiquement.* On s'assure aisément de l'exactitude de cette conclusion à l'aide de l'oxyde de lithium. Au point de fusion de cet oxyde, son spectre se compose d'une seule raie d'un rouge brun; dans l'hydrogène brûlant dans l'air, le spectre lithique a deux raies : une première d'un rouge brun et une seconde d'un jaune fortement orangé; et dans l'hydrogène simplement porté à l'incandescence, le spectre lithique possède trois raies : une rouge, une jaune orangé et une bleu pâle. Au point de fusion de l'iridium, on observe les *mêmes* raies et en *même nombre*, mais sur un fond illuminé par un spectre *continu*, tandis que pour les trois spectres précédents, l'espace spectral est *obscur*. Les faits se passent d'une manière analogue pour les spectres de flamme des composés du calcium, du strontium et du baryum.

Ainsi, par l'élévation de la température des flammes, concomitante d'une plus grande masse de matière en vapeur et d'une intensité lumineuse supérieure, on *complète* les spectres toujours vers le violet, mais on ne parvient pas à faire disparaître des raies primitivement apparues. Les spectres de flamme *complétés* sont représentés par des CONSTANTES. Ces constantes diffèrent radicalement pour le sodium, le potassium, le lithium, le calcium, le strontium, le baryum et le thallium. On doit en conclure à la spécificité, à l'individualité de ces métaux et à leur immutabilité dans les conditions où il est possible actuellement d'exécuter les observations.

L'analyse prismatique de l'étincelle, de la décharge et de l'arc électriques, chargés des différents composés désignés ci-dessus, conduit à des conclusions analogues, si pas identiques. Mais *la puissance de l'électricité étant d'un ordre supérieur à celle de la chaleur la plus élevée,* le spectre de la plus faible étincelle est *complet,* en se servant d'un *analyseur convenable. Sauf pour le sodium,* le spectre de l'étincelle ressemble, quant au *nombre* de raies qui sillonnent l'espace spectral, au spectre de la décharge de la plus forte bobine construite actuellement et de l'arc électrique. La seule différence que l'on

Digitized by Google

constate réside dans l'intensité lumineuse et l'intensité colorante qui sont moindres dans les raies observées dans l'espace spectral d'une faible étincelle et de plus en plus fortes à mesure de l'augmentation de la puissance électrique.

L'étincelle d'une petite bobine, *sans condensateur,* qui ne détermine pas dans l'air l'apparition de *raies atmosphériques et sodiques,* fournit, à l'analyse prismatique, un espace spectral sillonné des raies propres au corps enveloppant les électrodes et privé absolument de raies sodiques, lorsque ce même corps, répandu dans la flamme de la lampe de Bunsen, ne donne pas la raie sodique D.

Cette conclusion résulte des observations faites sur l'oxyde de lithium et sur les hydroxydes de strontium, de baryum et sur le peroxyde de thallium. Il est impossible de prouver absolument le fait pour une *forte* étincelle ou pour une décharge d'une grande bobine, par la raison que l'analyse spectrale de cette étincelle ou de cette décharge dans l'air *ambiant* le plus pur, fournit les raies sodiques. Le pouvoir de l'électricité capable de porter à la plus vive incandescence les oxydes indiqués ci-dessus, est impuissant pour les dissocier de manière à donner naissance à du sodium. Lorsque la raie sodique D apparait dans une forte étincelle ou dans la décharge saturée d'un des composés purs désignés ci-dessus, l'intensité colorante de cette raie n'est jamais plus grande que celle observée sur l'étincelle entre des électrodes de platine ou d'iridium *pur. L'intensité colorante de la raie sodique D est, au contraire, moindre.* Par induction, on peut donc conclure également que dans ce cas il n'y a pas de dissociation avec mise en liberté de sodium.

Deux faits présentés par les spectres électriques ont vivement frappé mon esprit. Le premier est la netteté de contours de la plupart des raies formées par les composés qui ont fait l'objet de mes investigations. J'ai constaté cette netteté extrême de contours aussi bien dans le spectre de la plus faible étincelle que dans celui de la plus forte décharge ou de l'arc électrique. L'expérience ultérieure décidera si réellement ces raies sont immutables en changeant soit les conditions de la puissance électrique, soit celles de l'*analyseur* employé.

Le second fait est la *différence* du *nombre* et de la *position* des raies du spectre de flamme ou *calorifique* et du spectre *électrique.*

J'ai observé avec certitude cette différence entre le spectre de flamme du

Digitized by Google

sodium, du *lithium*, du *calcium*, du *strontium* et du *baryum*, et le spectre électrique de ces corps. En se servant d'un spectroscope d'un pouvoir dispersif relativement considérable et en superposant successivement un spectre calorifique de chacun de ces corps à un spectre électrique du même corps et réciproquement, on se convainc immédiatement, non seulement de la différence de *physionomie* des deux spectres, mais de la différence du *nombre* et de la *position* des raies de chaque spectre. On constate indubitablement l'existence des raies *communes* aux deux spectres, et notamment *celles qui existent dans le spectre de flamme à l'état de raies proprement dites*, mais on trouve aussi que certaines bandes ou même une raie du spectre calorifique ne sont pas représentées par des raies dans le spectre électrique. On constate également dans le spectre électrique l'existence de raies qui manquent absolument à l'état de bandes dans le spectre de flamme.

Le spectre de flamme du dard oxhydrique barytique et le spectre électrique du baryum présentent ces contradictions à un point tel qu'on a peine à se figurer qu'ils sont produits par un *seul* et *même* corps.

Pour me convaincre, j'ai cru devoir prendre la peine de m'assurer si deux spectres de flamme et deux spectres électriques du baryum peuvent se superposer exactement, ce qui, en effet, est difficile, mais réalisable par le placement convenable du prisme fixé devant le collimateur.

J'ai réalisé ces superpositions en me servant du grand spectroscope de M. Hilger, muni de *trois* prismes de spath d'Islande. A cause de la grande absorption de lumière, la réussite de l'expérience est impossible, pour le spectre de flamme, en employant *six* prismes de l'appareil.

Pour résumer les différences fondamentales entre le spectre calorifique et le spectre électrique des *cinq* corps qui ont fait l'objet de mes investigations les plus minutieuses je dirai :

Le spectre sodique de *flamme* est formé *uniquement* par *une* double raie d'un jaune très légèrement orangé en coïncidence avec la double raie D et D′ de von Fraunhofer; tandis que le spectre sodique *électrique* est composé de *quatre* raies *doubles* et d'*une* raie simple : *une* double raie *rouge*, une double raie d'un jaune orangé D et D′, *deux* doubles raies d'un vert livide et une raie *simple* verte, toutes ces raies en coïncidence avec des raies du spectre

Digitized by Google

de la surface solaire. Les quatre raies doubles et la raie simple ont été signalées dès 1864 par M. W. Huggins [1], et en 1868 par feu Angström [2]. Dans ses études sur la portion ultra-violette du spectre normal solaire, M. Cornu signale une cinquième double raie, de sorte que le spectre sodique serait formé au moins de onze raies.

Le spectre lithique de *flamme* complété est formé de *trois* raies : la première d'un rouge brunâtre, la deuxième d'un jaune orangé et la troisième bleue, découverte par MM. Lockyer et Franckland, tandis que le spectre *électrique* du lithium se compose des trois raies du spectre lithique oxhydrique auxquelles vient se joindre une seconde raie d'un bleu violacé, celle découverte par MM. Liveing et Dewar dans l'arc électrique lithifère.

Le spectre calcique de *flamme* présente, parmi ses raies caractéristiques, une forte raie intensément colorée en vert, signalée lors de la création de l'analyse spectrale par MM. Bunsen et Kirchhoff et représentée, à la même position, par M. Bunsen pour le spectre de flamme dans ses *Spectral analytische Untersuchungen*. Le spectre *électrique* calcique ne contient pas cette raie, tandis qu'on y aperçoit *trois* raies vertes observées en premier lieu par M. Kirchhoff en coïncidence avec des raies du spectre solaire, et indiquées par M. Bunsen dans son dernier travail comme appartenant au spectre calcique *électrique*. La plus forte de ces trois raies vertes coïncide avec E des raies de von Fraunhofer.

Le spectre de *flamme* du strontium complété ne renferme qu'une raie bleue, tandis que le spectre *électrique* du strontium présente une raie bleue et deux raies légèrement violettes, celles-ci découvertes par M. Bunsen.

Le spectre barytique de *flamme* complété ne contient qu'une seule raie bleue; cette raie fait défaut dans le spectre barytique *électrique*. En revanche, ce dernier spectre renferme deux raies bleues : une première en deçà et une seconde au delà de la position de la raie bleue du spectre de flamme, ainsi que cela résulte des observations de M. Bunsen et des nombreux essais de juxtaposition, faits par moi, du spectre *oxhydrique* et du spectre *électrique* barytiques.

[1] *On the spectra of some of the chemical elements*, by W. Huggins (Phil. Trans., 1864, p. 139)
[2] *Recherches sur le spectre solaire*. Upsal, 1868, p. 35.

Digitized by Google

La différence du spectre calorifique et du spectre électrique des cinq métaux indiqués ci-dessus n'est donc pas douteuse. Je n'ignore pas que des spectroscopistes admettent, d'une manière générale, l'identité des spectres de flamme et des spectres électriques, malgré les constatations contraires confirmées par mes observations répétées dans différentes conditions et en y employant des analyseurs de pouvoirs dispersifs et absorbants différents. J'ai eu soin de me faire contrôler constamment par des personnes douées d'une bonne vue et habituées aux recherches spectroscopiques.

Ce n'est qu'après ces investigations entourées de toutes les garanties qu'un observateur peut se donner que j'ose affirmer la *non-identité* du spectre *calorifique* et du spectre *électrique*, du *sodium* du *lithium*, du *calcium*, du *strontium* et du *baryum*.

Pour ce qui concerne l'explication à donner aux faits observés, l'expérience ultérieure en décidera. Peut-être faut-il en chercher la cause dans l'intensité relative des radiations émises respectivement par les flammes et les étincelles pour les corps dont l'identité de spectre calorifique et de spectre électrique n'existe pas. En effet, cette intensité relative peut faire apparaître ou empêcher l'*apparition*, c'est-à-dire la *visibilité* de certaines raies. Pour émettre cette idée, je m'appuie sur les faits suivants, consignés dans les différentes notices :

L'introduction dans une *flamme* hydrocarbonée, d'une intensité relativement faible d'un composé de thallium, de sodium, de potassium, de lithium, de calcium, de strontium, de baryum, fait disparaître instantanément le spectre hydrocarboné de cette flamme;

Les radiations du thallium, dont l'intensité lumineuse est à mes yeux la plus forte de tous les corps sur lesquels ont porté mes investigations, font disparaître *complètement* ou *incomplètement* le spectre continu de l'hydrogène en combustion, suivant que ce gaz est porté *simplement* à l'incandescence ou que sa température est au maximum, comme c'est le cas dans le cône interne du gaz oxhydrique;

Le thallium PUR, introduit dans la flamme d'une lampe de Bunsen, présentant à l'analyse prismatique la raie sodique *à la limite de sa visibilité*, fait disparaître instantanément cette raie ;

Par l'analyse prismatique de l'étincelle électrique thallifère, on aperçoit ou

Digitized by Google

la raie thallique seule, ou la raie thallique accompagnée des *raies sodiques* et *atmosphériques*, suivant l'intensité des phénomènes électriques et *la quantité relative* du sodium dans l'air;

Enfin le passage des radiations thalliques, émanées de la flamme d'un brûleur de Bunsen, *au travers* de l'étincelle électrique, chargée de chlorure ou d'hydroxyde de baryum, fait disparaître instantanément le spectre électrique du baryum;

Lors de ces disparitions, le spectre du corps, dont les radiations lumineuses sont plus intenses, remplace le spectre éteint.

Tels sont les faits sur lesquels j'appuie l'explication exposée ci-dessus; mais, je le répète, c'est à l'expérience ultérieure à décider de l'exactitude de cette interprétation.

Quoi qu'il en soit de la cause de la différence du spectre de flamme et du spectre électrique du sodium, du lithium, du calcium, du strontium et du baryum, sauf pour le spectre électrique du sodium, le doute n'est pas possible sur l'identité du spectre de la plus petite étincelle, de la plus forte décharge et de l'arc électrique.

Le spectre électrique du sodium, du lithium, du calcium, du strontium, du baryum et du thallium étant représenté par *une constante* radicalement distincte pour chacun de ces métaux, on doit nécessairement conclure à la *spécificité* de ces six métaux ou à leur individualité, pour me servir de l'expression d'Angström, et à leur immutabilité dans les conditions des expériences.

L'hypothèse si hardie de la dissociabilité des métaux, fondée sur l'*interprétation* de certaines observations spectroscopiques solaires et stellaires, n'est donc pas sanctionnée par l'expérience telle qu'il est en notre pouvoir de l'exécuter actuellement.

En m'exprimant ainsi, je ne prétends nullement que les corps sur lesquels ont porté mes investigations soient des substances *absolument* simples, et qu'il n'existe pas d'autres forces que celles qui nous sont connues et dont j'ai pu disposer; mais qu'il me soit permis de dire qu'il serait téméraire d'affirmer le contraire et d'invoquer ces forces inconnues pour appuyer de pures conceptions de l'esprit.

Digitized by Google

RECHERCHES CHIMIQUES

ET

ÉTUDES SPECTROSCOPIQUES

SUR DIFFÉRENTS CORPS SIMPLES.

CHAPITRE PREMIER.

Recherches chimiques et études spectroscopiques du sodium, du potassium, du lithium, du calcium, du strontium, du baryum et du thallium.

INTRODUCTION.

En entreprenant ces travaux chimiques et ces études spectroscopiques, j'ai eu pour but de rechercher si l'on peut amener, par l'élévation de la température ou de l'intensité des phénomèmes électriques, et contrairement à ce qui est généralement admis, une corrélation entre les raies caractéristiques des spectres lumineux des composés du sodium, du potassium, du lithium, du calcium, du strontium, du baryum, du thallium, à l'état de pureté tel que les progrès réalisés dans l'analyse chimique permettent d'obtenir actuellement ces corps. Je savais parfaitement qu'en échouant dans ma tentative, après m'être donné considérablement de peine et avoir consacré à ce travail un temps que j'aurais, peut-être, pu mieux employer, je n'ajouterais rien à l'état de nos connaissances *spectroscopiques*. Je débarrasserais toutefois la science d'une hypothèse qui a séduit et séduit encore beaucoup d'esprits distingués; il m'a semblé que c'était là aussi concourir aux progrès des connaissances *positives*.

Digitized by Google

L'impuissance de l'analyse chimique est généralement reconnue pour constater la présence du sodium, et à plus forte raison pour doser ce métal, lorsqu'il existe dans une très faible proportion dans un composé donné.

Depuis les mémorables travaux de MM. Bunsen et Kirchhoff sur l'analyse spectrale, les chimistes ont eu presque exclusivement recours à cette méthode pour rechercher l'existence du sodium. En appliquant leur méthode à l'examen des composés solubles obtenus par *la voie de cristallisations successives*, les illustres auteurs ont trouvé que, par ce moyen, on ne parvient pas à séparer complètement le sodium des corps auxquels il est mêlé; il est indispensable de faire intervenir en même temps une action chimique lorsqu'on veut arriver à une séparation absolue. M. Bunsen d'abord, M. Diehl ensuite, ont mis les premiers ce moyen en pratique, ce dernier d'après les conseils de son illustre maître.

La présence presque constante de la raie sodique dans le spectre de tous les composés, a porté M. Lockyer à croire que ce métal prend naissance par le dédoublement des corps sur lesquels on opère. Cette hypothèse, si elle se vérifiait en fait, constituerait le renversement de toutes les notions fondamentales des sciences physico-chimiques. Quelque improbable qu'elle m'ait paru, comme à la plupart des chimistes qui ont exécuté des travaux exacts, le nom de M. Lockyer et les services éclatants qu'il a rendus à la science par ses recherches spectroscopiques, m'ont engagé à soumettre son hypothèse à un contrôle minutieux dès qu'il m'a fait l'honneur de me la communiquer (1878) [1].

Le travail que j'ai entrepris sur le potassium a eu donc autant pour but de résoudre la question de savoir si, en réalité, il est possible de se procurer du chlorure de potassium ne donnant, dans aucune condition, les indices de la présence du sodium, que d'obtenir ce composé dans un état de pureté tel que la conclusion à déduire de la détermination de son rapport proportionnel avec l'argent ne laisse plus de doute dans l'esprit de personne.

Mes investigations ont porté sur les composés de potassium, de sodium, de thallium, de lithium, de calcium, de strontium et de baryum. J'ai reconnu

[1] Correspondance privée.

Digitized by Google

bientôt que les résultats dépendent autant du milieu dans lequel les composés métalliques sont répandus, que de leur *impureté accidentelle*. Ce milieu étant, par exemple, l'air, j'ai trouvé ou je n'ai pas trouvé du sodium suivant que l'air donnait ou ne donnait pas des indices de la présence de ce métal. Ce fait m'a forcé à faire l'étude de l'air au point de vue spectroscopique.

Des caractères imprimés par l'air ambiant aux flammes de l'hydrogène, du gaz de l'éclairage, du dard aérhydrique, du dard oxhydrique, du dard oxycarbohydrique et à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques.

Je dois commencer mon exposé par les observations que j'ai faites sur l'air.

Tout ce que je vais dire se rapporte exclusivement à l'air du haut de la ville de Bruxelles, celui où j'ai travaillé, *au Musée de l'Industrie,* et à l'air de mon laboratoire particulier. Parmi les observations que j'ai à mentionner, il en existe un *très grand nombre* bien connues des chimistes qui se sont occupés d'analyse spectrale; mais je dois les rappeler pour rendre mon exposé aussi complet que possible.

La salle du Musée de l'Industrie dans laquelle j'ai exécuté mes recherches spectroscopiques, mesure 1,143 mètres cubes environ. Elle peut être transformée en chambre obscure, ce que j'ai eu soin de faire journellement lors de mes recherches.

Pendant tout le temps consacré à mes travaux, la salle a été mise à ma disposition exclusive.

Lorsque l'air *extérieur* est au repos et depuis plusieurs jours saturé d'humidité, condition qui se présente à Bruxelles de la fin du mois d'octobre jusqu'à la moitié du mois de décembre, et que la salle, au préalable lavée *à grande eau* et bien ventilée à l'air extérieur saturé d'humidité, est restée fermée pendant douze à dix-huit heures, temps nécessaire pour le dépôt des poussières lourdes, minérales, accidentelles, le gaz de l'éclairage mêlé d'un excès convenable d'air sortant d'une lampe de Bunsen *bien construite,* terminée par un tube de platine, d'argent ou d'or privé de sodium, ou même par un tube de laiton, bien nettoyé intérieurement et extérieurement, brûle avec

Digitized by Google

une flamme d'un bleu foncé et pur, dans laquelle il est impossible de constater, à l'aide de n'importe quel spectroscope, la présence de sodium, soit qu'on fasse l'analyse prismatique vers le sommet, vers le milieu, ou à la base du cône lumineux, auquel on a donné un diamètre variant de 1 à 1 1/2 centimètre et une hauteur de 10 à 25 centimètres.

Si on introduit, à l'aide d'une boucle en fil fin de platine, vers le milieu de la hauteur de la flamme, de l'acide chlorhydrique dissous, ou du chlorure d'ammonium pur, la couleur de cette moitié supérieure se change immédiatement : elle vire au vert, et l'intensité de la coloration est en rapport avec la quantité de chlorure d'hydrogène ou d'ammonium introduite. Dans la flamme ainsi virée, l'analyse prismatique est impuissante à déceler la moindre trace du spectre sodique ou d'un hydrocarbure en combustion incomplète.

En substituant au brûleur de Bunsen un chalumeau de platine ou d'argent, préalablement débarrassé de toute poussière sodique, et au gaz de l'éclairage de l'hydrogène *convenablement purifié,* on observe que ce gaz brûle dans l'air *pur* avec une flamme tellement *incolore,* si peu lumineuse, que dans l'obscurité l'œil a peine à l'apercevoir. On ne saurait découvrir dans aucune partie de cette flamme le moindre indice de la *raie sodique* D, ou de *spectre continu.*

L'introduction du chlorure d'hydrogène ou d'ammonium pur dans l'hydrogène en combustion dans l'air pur, communique immédiatement à sa flamme incolore une teinte d'un jaune verdâtre, livide, analogue à celle que l'on observe en brûlant l'hydrogène dans le chlore. L'analyse prismatique de cette flamme ne permet pas d'y constater la présence de la raie sodique, ni de spectre continu.

Dans le dard d'un chalumeau de platine pur, débarrassé *intérieurement* et *extérieurement* de toute poussière sodique, alimenté par un mélange en proportions convenables de gaz de l'éclairage, ou d'hydrogène et d'air, ou d'hydrogène et d'oxygène purs, l'observation spectroscopique constate également l'absence complète de la raie sodique D, quelle que soit la partie de la flamme considérée. Après l'introduction de l'acide chlorhydrique qui altère fortement la couleur de ces flammes, on n'aperçoit aucune trace de raie sodique.

Digitized by Google

Pour compléter l'ensemble de ces constatations, je dois ajouter que, dans la salle tout à fait obscure et où l'air est *pur,* l'analyse prismatique ne permet pas de constater l'apparition d'aucun spectre, pas même l'apparence d'une lueur pour les deux tiers supérieurs d'une flamme d'un brûleur de Bunsen bien construit [1], terminé par un tube de platine, ou d'un dard de *dix* à *vingt-cinq centimètres* de longueur, émané d'un chalumeau de platine alimenté à l'air ou à l'oxygène purs. Il n'apparaît de spectre dans cette partie de la flamme ou du dard, que si l'on y introduit un corps *solide fixe,* et dans ce cas le spectre produit est *continu,* ainsi qu'on le sait.

En ce qui concerne le dard qui résulte de la combustion de l'hydrogène pur, *en excès,* dans l'oxygène également pur, sortant sous pression d'un appareil de platine, des observations constantes me permettent d'affirmer que, dans les parties de ce dard dont la température n'est pas assez élevée pour amener le platine en pleine fusion, l'analyse prismatique ne permet pas de voir de spectre. L'espace spectral est constitué exclusivement par une *bande obscure,* lors même que la largeur de la fente du collimateur du spectroscope dépasse la distance voulue pour la vision distincte des raies obscures du spectre solaire. Dès que la température du dard atteint le point de fusion du platine, l'hydrogène devient *incandescent;* il se colore en *bleu pâle* ou *d'azur.* L'analyse prismatique fait constater alors l'apparition d'un spectre continu, toutefois *sans formation* de bandes ou de raies. Il en est de même du tiers environ *supérieur* d'un dard dans lequel l'hydrogène n'est pas porté à l'incandescence. En effet, le dard qui sort d'un chalumeau

[1] Lorsque le brûleur est mal construit, ce qui est très souvent le cas, la flamme, au lieu de consister en un *cône unique*, entouré d'une enveloppe à peine visible, mais très chaude, se compose de deux cônes, depuis sa base jusqu'à sa pointe : un cône interne, légèrement lumineux et *pourpré,* surmonté d'un second cône d'un *bleu pur* dans l'air pur, entouré à son tour d'une enveloppe à peine visible où s'achève la combustion du carbone. Dans la flamme de ce brûleur mal construit, le second cône réalise les conditions indiquées ci-dessus, c'est-à-dire l'absence de l'apparition d'aucun spectre, tandis que le cône interne donne par l'analyse prismatique le spectre incomplet des hydrocarbures en combustion sur lequel je reviendrai plus loin.

Quel qu'ait été le brûleur employé, j'ai toujours porté dans l'enveloppe externe, à peine visible de la flamme, le corps que je voulais répandre dans celle-ci pour en faire l'analyse prismatique.

Digitized by Google

oxhydrique sous pression plus ou moins forte, se compose de deux cônes superposés, comme c'est le cas d'un brûleur de Bunsen mal construit : d'un cône inférieur interne coloré en *bleu d'azur* dans l'air *pur*, s'emboîtant dans le cône supérieur absolument incolore lorsqu'il s'agit du dard oxhydrique formé d'hydrogène en *excès* et d'oxygène *purs*.

L'analyse prismatique de ce cône inférieur et interne fournit un spectre continu, dépourvu de bandes ou de raies, et dont l'éclat va en augmentant de la pointe jusqu'à la partie où la température est à son maximum et en état de maintenir l'iridium et le rhodium en pleine fusion. Je reviendrai plus loin sur ce sujet.

En substituant à l'hydrogène, du gaz de l'éclairage ou un carbure hydrique très volatil, par exemple le naphte du pétrole ou tout autre à l'état de vapeur émanée d'un ajutage de platine, on observe des faits analogues pour le cône inférieur interne qui est également coloré en bleu. L'analyse prismatique de ce cône permet d'y constater un spectre continu à bandes et à raies d'un incomparable éclat. Les bandes et les raies sont nombreuses. Vers la partie du cône inférieur où l'éclat du spectre est le plus éblouissant, la température est si élevée que le rhodium et l'iridium peuvent y être également maintenus en fusion. Je reviendrai plus loin sur ce spectre.

En résumé, qu'on fasse l'analyse prismatique de la partie du dard d'un chalumeau aérhydrique, du dard du chalumeau oxhydrique ou oxycarbo-hydrique, dans laquelle le platine commence à fondre, ou dans laquelle il est en pleine fusion, ou dans laquelle l'iridium peut être maintenu en fusion, qu'il n'y ait aucun spectre ou qu'il y en ait un d'éclatant, dans aucun cas, l'analyse prismatique ne permet de constater dans l'espace spectral la présence de la raie sodique D, lorsque l'air dans lequel les phénomènes se passent est pur, ou du moins présente un degré de pureté relative donné et que les éléments destinés à produire la flamme sont purs, enfin que les appareils eux-mêmes ne peuvent céder trace de sodium.

Je n'étonnerai certainement pas ceux qui ont pratiqué l'analyse spectrale en disant que j'ai rencontré les plus grandes difficultés pour constater, dans les conditions indiquées, les faits décrits ci-dessus, si simples qu'ils semblent.

Rencontrer à la fois de l'air au repos à l'extérieur et dans une salle close,

Digitized by Google

même très vaste, est chose tellement rare, que presque tous les spectroscopistes admettent que la raie sodique D s'observe *toujours* dans un brûleur de Bunsen ou dans le dard du chalumeau alimenté à l'hydrogène.

Lorsqu'on a la chance d'avoir de l'air relativement pur, le mouvement qu'on est obligé de se donner dans la salle pour travailler, trouble bientôt la pureté du milieu.

J'ai constaté que le temps utile à l'expérimentation exacte est très limité; il est au maximum une heure et demie journellement, et ce n'est guère que dans la matinée, de neuf à onze heures, lorsque l'air extérieur est depuis plusieurs jours saturé d'humidité, qu'on peut espérer le trouver à Bruxelles, à condition d'avoir eu soin de faire laver, *à grande eau,* le sol et les boiseries de la salle, la veille au soir, pour se débarrasser autant que possible des poussières déposées, d'y faire pénétrer ensuite de l'air saturé d'humidité, de *maintenir le sol mouillé,* de s'abstenir de traverser la salle et de n'être assisté que d'un seul aide ou d'un seul témoin. Dès que le sol est séché et que l'air de la salle est mis en mouvement par la marche, ou par des vibrations communiquées aux portes, aux volets des croisées et surtout à la voûte de la salle, la couleur d'un bleu foncé et pur, caractéristique de la flamme d'un brûleur de Bunsen, vire vers l'indigo pour devenir finalement d'un violet très prononcé, et même rougeâtre; on y remarque alors souvent des points brillants qui émettent une lumière jaune.

L'analyse prismatique de la flamme y fait reconnaître l'existence du sodium et du calcium d'une manière intermittente ou continue suivant l'intensité du trouble de l'air. L'introduction de l'acide chlorhydrique dans cette flamme permet de voir le spectre du calcium avec une intensité relativement grande.

Dans l'air troublé par le mouvement, la flamme obscure de l'hydrogène *pur,* du dard aércarbohydrique ou oxhydrique, se colore manifestement en jaune, souvent même en rouge, et devient très lumineuse. La coloration et l'éclat de cette flamme croissent avec l'intensité du trouble [1].

Les difficultés contre lesquelles on a à lutter, lorsqu'il s'agit de constater

[1] Voir à la fin de cette notice l'*Essai sur la nature et la quantité de matières minérales solubles et insolubles existant dans l'air et dans l'eau de pluie à des moments et dans des conditions donnés.*

Digitized by Google

la réalité des faits, ne proviennent pas seulement des impuretés que l'air commun peut renfermer, mais dépendent également de l'état de pureté des gaz employés et des appareils par lesquels on les fait passer ou au bout desquels on en détermine la combustion.

Il est indispensable que le gaz de l'éclairage, l'hydrogène, l'air et l'oxygène qui alimentent les chalumeaux, soient eux-mêmes complètement dépouillés de corpuscules sodiques ou calciques en suspension.

J'ai reconnu qu'un des meilleurs moyens et des plus sûrs d'avoir le gaz de l'éclairage, l'hydrogène, l'oxygène et l'air dépouillés de tout corps en suspension, consiste *à les faire traverser de l'eau pure en ébullition, à les amener et à les conserver sur l'eau privée de matières volatiles et rendue alcaline par de la chaux ou de la baryte, pendant vingt-quatre heures au moins, aur epos dans de grands gazomètres.*

Consommés ensuite, ils ne fournissent aucun indice de spectre sodique ou calcique.

Il est si difficile de priver des poussières en suspension l'air sec troublé par le *mouvement*, qu'on reconnaît manifestement la présence du sodium dans le dard d'un chalumeau en platine ou en argent, alimenté par l'hydrogène ou par le gaz de l'éclairage pur et l'air extérieur ou intérieur préalablement divisé et lavé par son passage au travers d'une soufflerie ou trompe à eau. Je ne suis parvenu à enlever à l'air extérieur ou intérieur, entraîné par une trompe à eau, le sodium qui est contenu dans les poussières insolubles en suspension, qu'en lançant cet air dans une chaudière en métal renfermant de l'eau pure *en ébullition*. En réglant l'introduction de l'air lavé, et l'ébullition de l'eau de manière à obtenir un mélange à peu près à volumes égaux d'air et de vapeur d'eau, la condensation de la vapeur, par son passage au travers d'un réfrigérant en étain parfaitement poli, entraîne le dépôt des poussières insolubles échappées au lavage par la trompe, au point d'obtenir, en se servant soit du gaz de l'éclairage, soit de l'hydrogène pur, un dard dans lequel l'analyse prismatique ne permet pas de constater la raie sodique, bien entendu lorsque l'*air de la salle* ou l'air d'*une cloche haute et relativement étroite*, A PAROIS MOUILLÉES, dans lequel on travaille, est lui-même complètement dépouillé de poussières sodiques.

Digitized by Google

La vapeur d'eau, en se condensant, entraîne donc les poussières insolubles suspendues dans l'air fourni par la soufflerie ou la trompe.

J'ai tenté un essai sur une très grande échelle, dans le but de me rendre compte du poids des poussières sodiques éliminées ainsi. J'ai opéré par un vent modéré du sud, sur de l'air puisé dans la rue que j'habite, orientée de l'est à l'ouest, à 9 mètres au-dessus du sol, qui est à 50 mètres environ au-dessus du niveau moyen de la rivière qui traverse la ville, et à 67 mètres au-dessus du niveau de la mer. Pendant le fonctionnement de l'appareil, j'ai eu soin de m'assurer, à plusieurs reprises, qu'après la condensation de la vapeur d'eau, l'air entraîné était absolument privé de poussières sodiques.

J'ai reçu l'eau condensée, à mesure de sa production, dans un double filtre de papier privé, par un traitement convenable, de toute trace de matières minéralifères, et contenu dans un entonnoir de platine couvert. J'ai trouvé que la carbonisation en vase clos et l'incinération à la plus basse température possible, au double filtre au travers duquel avaient passé *dix litres* d'eau, après un fonctionnement de la trompe pendant soixante heures, ne laissent que $0^{gr},000,23$ de cendre brune ferrugineuse, soit $^{23}/_{100,000,000}$ de son poids, en supposant, bien entendu, qu'aucune trace [1] de la matière en suspension n'ait été retenue par le réfrigérant en étain parfaitement poli. Le volume de l'air refoulé par la trompe dans l'appareil distillatoire s'est élevé à environ *dix-sept mètres cubes*.

Quoique l'eau eût été recueillie dans un flacon de verre, il m'a été impossible d'y découvrir, par l'analyse spectrale, le moindre indice de la raie sodique. La trompe avait donc privé l'air de *composés sodiques solubles;* en revanche, la cendre brunâtre, mouillée préalablement d'acide chlorhydrique préparé à l'instant même dans le platine et introduite au bout d'une boucle en fil fin de platine récemment rougi dans la flamme de l'hydrogène, l'a immédiatement colorée en *jaune intense*, et au spectroscope j'ai reconnu la présence du *calcium* et du *sodium*.

La dernière cause des difficultés qu'on rencontre dans l'analyse spectrale,

[1] Un filtre de bon papier, traité successivement à l'eau acidulée par les acides chlorhydrique et fluorhydrique, et enfin à l'eau pure, ne laisse aucune trace pondérable de cendre à l'incinération.

Digitized by Google

lorsqu'il s'agit de résoudre des questions de principe, réside dans les appareils auxquels on est obligé de recourir pour produire les flammes.

En ce qui concerne le platine, l'expérience m'a démontré que par la fusion et l'affinage, on le prive complètement de sodium.

En effet, je ne suis pas parvenu à constater la formation de la raie sodique en refondant dans l'air, au chalumeau oxhydrique, du platine purifié. J'ai observé, à plusieurs reprises, que du platine qui avait été fondu dans un creuset de chaux, étant ensuite refondu au gaz oxhydrique, donne un spectre *très fugitif* du calcium. Quoi qu'il en soit, transformé en feuille ou en fil, la refonte dans l'air le dépouille de calcium.

Le platine conservé quelque temps à l'air, *à l'abri des poussières en suspension,* porté ensuite dans la flamme d'un brûleur de Bunsen ou dans la flamme de l'hydrogène, colore instantanément ces flammes en jaune et fournit la raie sodique, mais jamais le spectre calcique, même en présence de l'acide chlorhydrique. Le fait de la coloration en jaune de ces flammes, constaté d'abord par MM. Bunsen et Kirchhoff, est connu de tous les spectroscopistes. *Cette coloration disparait dès que le métal est chauffé au blanc.*

Le platine abandonné à l'air *extérieur* ou *intérieur,* sans être mis à l'abri des poussières qui y sont en suspension, introduit dans la flamme d'un brûleur de Bunsen ou dans la flamme de l'hydrogène, colore ces flammes en jaune dès qu'il est rougi; cette coloration perdure tant que le platine n'a pas été amené en pleine fusion et affiné sur de l'oxyde de calcium, ou bien qu'il n'a pas été traité à chaud par un mélange d'acides fluorhydrique et chlorhydrique dilués dans leur poids d'eau. J'ai reconnu que les poussières *insolubles* dans l'eau, suspendues dans l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la ville de Bruxelles, renferment, outre des matières organiques sodées, du silicate d'aluminium, de calcium, de fer et de sodium, du carbonate de calcium, de la silice sablonneuse. J'y ai cherché le potassium sans pouvoir le découvrir.

L'expérience m'a enseigné que les tubes et les ajutages de platine destinés aux recherches spectroscopiques exactes doivent être conservés à l'abri des poussières de l'air, et qu'avant de s'en servir il est indispensable de leur faire subir un lavage par un mélange d'acides fluorhydrique et chlorhydrique dilués, et ensuite à l'eau pure. J'ai constaté en effet que c'est à l'état

Digitized by Google

de silicate fondu que le sodium reste à la surface du platine, couvert de poussière, et qui a été chauffé au blanc.

J'ai dit plus haut que le platine pur, conservé quelque temps à l'air, *à l'abri des poussières en suspension,* colore en jaune la flamme d'un brûleur de Bunsen et fournit la raie sodique.

J'ai institué des recherches pour me rendre compte de ce fait, et j'ai constaté que le platine *pur,* à l'état de fil, de feuille ou de mousse, peut être maintenu très longtemps dans l'air extérieur saturé d'humidité et dans un courant d'air sortant d'un gazomètre où ce fluide a été conservé vingt-quatre heures sur l'eau, et, partant, saturé de vapeur d'eau, sans acquérir la propriété de colorer la flamme de l'hydrogène en jaune et de donner la moindre trace de raie sodique.

Il en est de même de l'air purifié en le lançant dans une chaudière de métal renfermant de l'eau en ébullition, ainsi que je l'ai exposé ci-dessus. Cet air est tellement privé de sodium que non seulement on peut y abandonner du platine sans qu'il lui emprunte du sodium, mais qu'on peut y opérer une décharge d'une puissante bobine d'induction, entre des sphéroïdes de platine ou de platine couvert d'iridium privés de sodium, sans que l'analyse prismatique de cette décharge permette de constater parmi les raies atmosphériques l'apparition des raies sodiques [1]. Cette apparition

[1] J'ai exécuté cette recherche dans un appareil dont les dispositions sont connues. Il consiste, en effet, dans un tube de verre *dur*, incolore, de 12 centimètres de longueur sur 8 centimètres de diamètre intérieur et 10 centimètres de diamètre extérieur.

Un disque de verre dur, dépoli et douci sur une de ses faces, de 2 centimètres d'épaisseur et de 10 centimètres de diamètre, était fixé sur chaque bout ouvert du tube à l'aide d'armatures reliées entre elles par des tringles métalliques à vis, dont les bouts étaient munis d'écrous taraudés et serrants. Chaque disque est percé à son centre d'une ouverture très légèrement conique, de 1 centimètre environ de diamètre, dans laquelle était soigneusement rodé un bouchon d'argent pur, terminé extérieurement par un petit anneau destiné à être mis en contact, soit avec une bobine, soit avec son condensateur. Dans le bout des bouchons coniques d'argent, traversant les disques, on avait foré une cavité cylindrique profonde et de 1 $^1/_2$ millimètre de diamètre, taraudée, servant d'écrou à l'un des bouts d'un fil de platine de même diamètre, terminé en vis. L'autre bout du fil de platine était muni d'un sphéroïde de même métal, de 3 millimètres de diamètre, ou d'un sphéroïde de platine, couvert complètement de blanc d'iridium agglutiné au chalumeau oxycarbohydrique.

En faisant pénétrer plus ou moins les bouts des fils de platine dans l'écrou taraudé des bouchons d'argent, introduits à frottement dans les disques, on réglait la distance entre les

Digitized by Google

s'observe toujours dans la décharge effectuée dans l'air *dit pur, lors même que l'hydrogène et le gaz de l'éclairage peuvent y brûler sans que l'analyse prismatique des flammes y dénote la présence du sodium.* Dans l'exposé de l'étude spectroscopique du lithium, je reviendrai sur ce dernier fait.

sphéroïdes de platine. Lors des expériences, j'ai fait varier cette distance entre 5 et 10 millimètres.

Au centre de l'espace compris entre l'ouverture pratiquée dans chaque disque et la paroi interne du tube, on a foré une seconde ouverture de 6 millimètres de diamètre, dans laquelle on a usé à l'émeri une branche d'un robinet en verre dur, de manière à munir chaque disque d'un robinet destiné à amener, dans le tube, l'air devant être soumis à la décharge électrique.

Sauf les bouchons d'argent terminés par des fils et des sphéroïdes de platine servant d'électrodes, l'appareil se composait de verre dur, dont toutes les parties juxtaposées étaient usées et doucies à l'émeri, et maintenues par la pression les unes contre les autres, de manière à constituer un espace parfaitement clos, en état de conserver, à la pression de l'atmosphère, l'air qui y était contenu.

Pour enlever à l'appareil toute trace de composé sodique libre, j'ai pris les dispositions suivantes :

Après avoir lavé un grand nombre de fois, à l'eau pure, l'appareil privé de ses bouchons coniques d'argent et pendant que ses parois étaient encore mouillées, je l'ai mis, par un des robinets y adaptés, en rapport avec le gazomètre contenant l'air que je voulais soumettre à l'essai, et j'y ai fait passer un courant rapide de cet air. J'ai fixé ensuite les bouchons coniques d'argent terminés par des fils et des sphéroïdes de platine qui venaient d'être lavés d'abord à l'acide fluorhydrique dilué, puis à l'eau pure, distillés et recueillis dans le platine.

Les sphéroïdes de platine pur ou de platine couvert de blanc d'iridium ayant été au préalable placés à une distance voulue, et l'appareil ayant été fixé *verticalement* devant et aussi près que possible de la fente du spectroscope, j'ai fait éclater successivement des étincelles et des décharges électriques entre les sphéroïdes, pendant qu'un courant de l'air à examiner traversait l'appareil.

Ce courant d'air a été fourni :

1° Par un gazomètre dans lequel l'air extérieur, lavé simplement à la trompe, avait séjourné pendant vingt-quatre heures sur de l'eau rendue alcaline par de l'hydroxyde de baryum;

2° Par un gazomètre dans lequel se rendait directement l'air injecté par une trompe à eau, dans de l'eau en ébullition contenue dans une chaudière de cuivre surmontée d'un chapiteau en communication avec un réfrigérant en étain, maintenu à basse température, par de l'eau froide renouvelée, pour condenser la vapeur d'eau mêlée à volume à peu près égal à l'air injecté.

En agissant ainsi, j'ai reconnu que l'analyse prismatique soit de l'étincelle, soit de la décharge, quelque fortes qu'elles aient été, a fourni un espace spectral privé *absolument* de la double raie D. Pour l'étincelle longue ou courte, j'ai constaté exclusivement le spectre

Digitized by Google

Dès que l'analyse prismatique permet de constater dans une flamme brûlant dans l'air *au repos*, ou *en mouvement*, la présence du sodium, cet air communique au platine, quel que soit son état, la faculté de colorer cette flamme en jaune. La mousse de platine jouit de cette propriété au plus haut degré.

des raies atmosphériques, et pour la décharge *forte* le spectre de ces dernières raies près desquelles sont venues se juxtaposer des raies *brillantes*, dues au platine ou à l'iridium suivant la nature de la surface des sphéroïdes employés.

Comme analyseur, j'ai employé successivement le spectroscope à vision directe de M. Hilger, le spectroscope de Steinheil, enfin le grand spectroscope de M. Duboscq, muni de trois prismes.

L'absence de la raie sodique jaune dans le spectre de la décharge électrique effectuée au sein de l'air saturé d'humidité et purifié par les moyens exposés ci-dessus, a surpris des spectroscopistes auxquels j'ai communiqué mes observations. Je dirai à l'appui de la parfaite exactitude de cette recherche, que lors de la revision de mes études spectroscopiques avec M. Depaire, nous avons été à même de constater, à plusieurs reprises, que dans l'espace spectral de la décharge effectuée dans l'air de son cabinet de spectroscopie à peu près saturé d'humidité, il nous a été impossible d'apercevoir la raie jaune sodique. Recherchant un jour s'il est possible de se procurer un composé de magnésium privé de sodium au point de ne plus fournir la raie sodique par l'analyse prismatique de la décharge saturée de magnésium, nous avons non seulement constaté la possibilité de réaliser cette séparation radicale, mais nous avons reconnu en même temps que l'air ambiant, remplissant le tube dans lequel nous opérions, était privé de sodium.

Dans l'espoir de pouvoir me renseigner sur la nature de la substance qui communique parfois à l'hydrogène de l'électrolyse de l'eau ou de la décomposition de l'acide sulfurique dilué par le zinc ou le zinc plombé, la faculté de brûler avec une flamme d'un *jaune rougeâtre*, j'ai rempli l'appareil décrit ci-dessus avec de l'hydrogène présentant cette propriété; pendant que le courant le traversait, j'ai fait l'analyse prismatique de la décharge électrique, faible ou forte, effectuée dans le gaz.

J'ai observé ainsi qu'à côté de la raie sodique et des raies C et F de l'hydrogène, l'espace spectral présentait quelques faibles raies, bandes rouges et vertes très brillantes, ressemblant à s'y méprendre à des raies, bandes de l'azote, et dont la position coïncidait avec celles de l'azote.

La présence de l'azote s'explique, l'hydrogène étant recueilli et conservé sur l'eau aérée.

Ayant remplacé le gaz par de l'hydrogène privé de la propriété de brûler avec une flamme légèrement éclairante, j'ai constaté par l'analyse prismatique de la décharge effectuée dans cet hydrogène, l'absence de la raie sodique dans l'espace spectral, mais la présence au moins aussi prononcée des faibles raies rouges et vertes observées dans le gaz doué de la faculté de brûler avec une flamme éclairante.

La nature de la substance qui communique, dans certains cas, à l'hydrogène la propriété de brûler avec une flamme rougeâtre, reste donc à découvrir.

Digitized by Google

Le temps nécessaire pour la condensation du sodium sur le platine est très variable; il suffit de dix à quinze minutes pour l'air ordinaire du *laboratoire*, tandis que plusieurs jours d'exposition sont nécessaires pour obtenir le jaunissement de la flamme lorsque l'air ne renferme que des traces fugitives de sodium.

Le platine, même à l'état de *mousse*, conservé à l'air sec et au repos d'une armoire vitrée, dans lequel l'analyse primatique est impuissante à déceler la puissance du sodium, n'acquiert pas la faculté de colorer la flamme en jaune, après un grand nombre de jours d'exposition; mais l'analyse spectroscopique de la flamme *non virée*, permet d'apercevoir la raie sodique D d'une faible intensité.

Il résulte de ces observations que c'est bien l'air qui dépose le sodium sur le platine.

L'argent se conduit comme le platine. Convenablement affiné, ainsi que je l'ai suffisamment exposé, il ne fournit trace de spectre sodique. Après avoir été abandonné dans l'air dans lequel l'analyse prismatique d'une flamme permet d'observer une raie sodique fortement colorée en jaune, il imprime à la flamme d'un brûleur de Bunsen une teinte jaune prononcée et fournit une raie sodique intense. Cette coloration disparaît rapidement; mais si le métal est couvert de poussières atmosphériques, il communique à la flamme une coloration jaune, qui persiste tant qu'il n'a pas été fondu et suffisamment affiné sur de l'oxyde de calcium.

Les tubes et ajutages d'argent, conservés dans l'air, doivent être soigneusement lavés à l'eau acidulée à l'acide fluorhydrique d'abord, puis à l'acide chlorhydrique et ensuite à l'eau pure.

Le charbon de cornue le mieux purifié, se conduit absolument comme le platine et l'argent. Il condense du sodium. On doit le conserver *dans des vases bouchés à l'émeri* et ne s'en servir qu'après l'avoir chauffé *à blanc*.

Le platine, l'argent et le charbon, conservés *à l'abri des poussières de l'air*, dans des armoires, dans des cages vitrées bien fermées, sous des cloches, etc., condensent du sodium à leur surface. Le sodium est évidemment dû à l'air extérieur qui s'échange continuellement, par *diffusion*, avec l'air intérieur des armoires, des cages et des cloches. La liquéfaction rapide

Digitized by Google

des composés très hygrométriques, exposés dans ces atmosphères confinées, prouve la vitesse avec laquelle s'accomplit la diffusion. Ce fait, du reste, est connu de tous ceux qui enferment des corps desséchants dans les caves les mieux closes, pour préserver des instruments ou des produits chimiques de l'action de la vapeur d'eau de l'air qui s'y renouvelle sans cesse.

L'expérience m'a prouvé qu'*il est nécessaire de mouiller la surface interne des tubes et ajutages en métal ou en caoutchouc destinés à conduire les gaz des réservoirs aux appareils et de ne jamais se servir de tubes en caoutchouc désulfurés en les tenant dans une solution diluée et bouillante d'hydroxyde de sodium*. Pour avoir procédé un jour à cette désulfuration, j'ai perdu beaucoup de temps à rechercher la cause de la présence abondante du sodium. La soude pénètre dans le caoutchouc; le gaz de l'éclairage, en attaquant celui-ci, se charge de sodium en passant par un tube de caoutchouc désulfuré par de l'hydrate de sodium, quoique le tube ait été lavé à l'eau acidulée par de l'acide acétique et séché ensuite.

C'est en me fondant sur les faits et les considérations qui précèdent que j'ai cherché à résoudre la question de savoir s'il est possible d'obtenir des métaux et des composés métalliques qui, portés à la température la plus élevée possible, ne fournissent pas, à l'analyse prismatique, le spectre caractéristique du sodium, et si on peut ramener ainsi, les uns aux autres, les spectres des métaux, ou du moins déterminer l'apparition des raies caractéristiques du spectre d'un métal à l'aide d'un composé d'un autre métal.

Avant d'exposer mes recherches sur les spectres des métaux sur lesquels ont porté mes investigations, je dois faire connaître les moyens employés pour les réduire en vapeur et les instruments qui m'ont servi.

Des moyens employés pour réduire en vapeur les métaux et leurs composés.

J'ai eu recours successivement à tous les moyens connus actuellement pour atteindre ce but. Ces moyens sont l'*introduction* de ces corps :

1° Dans l'enveloppe extérieure de la flamme d'un brûleur de Bunsen;

2° Dans l'enveloppe extérieure de la flamme de l'hydrogène pur émané d'un *chalumeau* à ajutage de platine;

Digitized by Google

3° Dans le dard du chalumeau aérhydrique formé d'air et d'hydrogène purs;

4° Dans le dard de l'hydrogène pur porté à l'*incandescence* par l'introduction de l'oxygène;

5° Dans le dard du gaz de l'éclairage privé simplement de son pouvoir éclairant par l'introduction de l'oxygène;

6° Dans le cône interne du gaz oxhydrique;

7° Dans le cône interne du gaz oxycarbohydrique;

8° Dans l'*étincelle d'induction* de 2 à 5 millimètres de longueur de bobines: a) *sans condensateur;* b) *avec condensateur,* donnant respectivement des étincelles de *cinq,* de *quinze* et de *quarante-cinq* centimètres de longueur, les corps étant, soit à l'état solide, soit à l'état fondu, soit à l'état de solution dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée, au sein de l'air ou de l'hydrogène;

9° Dans la *décharge* de *cinq* à *dix* millimètres de longueur de bobines donnant des étincelles de *quinze* et de *quarante-cinq* centimètres de longueur, accouplées avec *une* ou avec *cinq* très grandes bouteilles de Leyde, les corps étant à l'état solide ou à l'état de solution dans l'eau acidulée, au sein de l'air ou de l'hydrogène;

10° Dans l'*arc électrique* produit successivement entre des électrodes de *carbone pur :* 1° par *trente,* par *cinquante,* par *cent,* par *deux cents* éléments de Bunsen *du plus grand modèle;* 2° par une batterie se composant de *trente-trois* boîtes d'accumulateurs Julien, donnant aux bornes de la lampe 10 ampères et 30 volts, et un arc de 9 millimètres de longueur sur 8 millimètres de largeur; 3° par un dynamo Gramme et un dynamo Siemens qui, étant accouplés, donnent aux bornes de la lampe 28 à 30 ampères et 60 à 80 volts, et un arc de *2 $^1/_2$ centimètres* de longueur sur *huit millimètres* de diamètre; 4° par un dynamo destiné à un *essai* d'éclairage dont la puissance lumineuse était évaluée à *dix mille bougies* [1].

Ces moyens ayant déjà été utilisés et leur application étant connue, je puis borner mon exposé à l'indication de quelques faits auxquels une longue pratique m'a conduit.

[1] Dans les notices consacrées aux spectres lumineux du sodium, du lithium, du calcium, du strontium, du baryum et du thallium, j'entre dans des détails sur l'emploi que j'ai fait de l'arc des différentes batteries et des dynamos.

Digitized by Google

De la position à donner aux flammes pour l'observation de leurs spectres.

MM. Bunsen et Kirchhoff prescrivent de poser *devant* la fente du collimateur, la flamme obscure d'un brûleur à gaz ou la flamme de l'hydrogène, et d'introduire dans le centre de la partie extérieure de ces flammes qui regarde cette fente, le fil, la boucle ou la spire de platine auquel adhère le composé qu'il s'agit de répandre à l'état de vapeur dans l'enveloppe extérieure de ces flammes.

Il est indubitable que, par l'analyse prismatique de cette mince couche de vapeur rendue incandescente, on peut se procurer des spectres de flamme qui ne laissent rien à désirer au point de vue de la netteté, lorsque l'intensité lumineuse ainsi obtenue est suffisante; mais cette dernière condition ne se réalise qu'en tant qu'on ait affaire à des corps très volatils. Il n'en est plus de même pour les composés peu volatils. Dans ce cas, il m'a paru préférable de placer les flammes sur le côté du collimateur, de manière que le bord *droit* ou *gauche* des flammes coïncide exactement avec la fente et que le centre de ce bord soit dans l'axe même du collimateur. En agissant ainsi, on a la somme de toutes les radiations résultant de l'introduction d'un composé réduit à l'état de vapeur dans le centre de l'enveloppe extérieure des flammes. Pour se convaincre que, par ce moyen de procéder, il y a augmentation d'intensité lumineuse, il suffit de comparer le spectre du chlorure de baryum dans les deux positions d'une même flamme, soit d'un brûleur de Bunsen, soit de l'hydrogène. Je sais que dans cette condition toutes les radiations ne sont pas à un même foyer; mais le même inconvénient se présente dans le procédé généralement suivi, par la raison qu'en introduisant la substance à volatiliser on dépasse presque toujours l'enveloppe obscure et qu'on pénètre trop avant dans la flamme. Je reconnais volontiers que l'emploi du moyen auquel j'ai eu recours est moins commode que la méthode actuellement pratiquée, et qu'il faut une certaine habitude pour le pratiquer rapidement. La difficulté qu'il présente dans son exécution est une grande garantie pour l'exactitude du résultat. Il est, en effet, indispensable que la flamme soit placée de manière que le centre de son enveloppe obscure se trouve exactement dans l'axe du collimateur, ce qui présuppose une immo-

Digitized by Google

bilité complète de la flamme, immobilité difficile à réaliser dans une salle où l'air est plus ou moins en mouvement, mais cependant qu'on obtient en recourant à des écrans qui soustraient la flamme aux courants d'air, ou mieux encore en opérant à l'aide d'un *dard* aérhydrique ou aércarbohydrique sortant, à *pression constante* de 2 ou 4 centimètres d'eau, d'un chalumeau terminé par un ajutage de platine percé d'une ouverture d'un demi à un millimètre de diamètre. Dans cette position de la flamme, lorsque la fente est suffisamment étroite, on est, autant que possible, à l'abri des radiations obliques, et l'espace spectral, sillonné ou non de raies, est toujours obscur. Par la méthode ordinaire, le spectre continu apparaît tellement souvent que tous les spectroscopistes représentent l'espace spectral du potassium et du sodium avec un spectre continu, quoique j'aie constaté avec certitude que cet espace sillonné par la double raie sodique D ou par les raies potassiques, en est complètement dépourvu, lors même que les composés potassiques et sodiques sont répandus dans l'hydrogène porté près de l'incandescence, comme c'est le cas du chalumeau oxhydrique alimenté d'une quantité convenable d'oxygène.

Pour trouver le plus facilement possible la position à donner aux flammes, j'ai pris les dispositions suivantes :

J'ai déposé d'une part le brûleur de Bunsen, le chalumeau à hydrogène, le chalumeau aérhydrique, oxhydrique ou oxycarbohydrique, entouré d'écrans pour les garantir contre tout mouvement latéral d'air, sur une planchette placée sur l'établi d'un fort trépied de photographe servant de support au spectroscope. Cette planchette, dont la longueur est près de la moitié de la largeur de l'établi, se meut, à l'aide d'une vis sans fin, normalement à l'axe du collimateur du spectroscope. A cet effet, la vis s'engage dans un écrou qui est attaché et tourne librement, par son collet, dans une virole fixée sur le *côté gauche* de l'établi.

J'ai déposé, d'autre part, le support destiné à l'introduction des composés dans l'enveloppe externe des flammes, sur une seconde planchette, occupant la moitié droite de l'établi. Cette seconde planchette se meut aussi normalement à l'axe du collimateur. Elle est munie, à cet effet, d'une vis sans fin, s'engageant dans un écrou attaché et tournant librement, par son collet, dans une virole fixée sur le *côté droit* de l'établi.

Digitized by Google

De cette façon la vis sans fin de la planchette de *gauche* fait avancer ou reculer, de *gauche* à *droite*, le brûleur ou le dard placé sur elle, tandis que la rotation imprimée à la vis sans fin qui s'engage dans l'écrou fixé à la planchette de *droite* fait avancer ou reculer de *droite* à *gauche* le porte-objet qui est déposé sur elle.

Le pas des vis étant très fin, *un millimètre au plus*, on peut amener, avec une grande précision, dans l'axe du collimateur du spectroscope, les radiations de la vapeur incandescente qu'on veut produire pour les soumettre à l'analyse prismatique.

Ce dispositif permet de mouvoir soit la flamme, soit le porte-objet, sans que l'observateur quitte des yeux l'oculaire du spectroscope, ce qui est indispensable lorsqu'il ne dispose que de petites quantités de matière, qu'il travaille seul pour ne pas altérer la pureté relative de l'air, et enfin qu'il veut se mettre à l'abri de l'erreur qui résulte de la position d'une raie provenant du mouvement transversal de la flamme.

L'expérience m'a démontré que, pour se mettre absolument à l'abri d'un spectre continu, il est indispensable de se soustraire complètement aux radiations du porte-objet amené à l'incandescence. Ces radiations se propagent plus loin qu'on le pense généralement. Dans bien des cas elles s'élèvent au-dessus du support au delà de 2 centimètres. On atteint à ce résultat en introduisant le composé dans la flamme à *deux centimètres* au moins au-dessous du niveau de la fente destinée à laisser passer les radiations et en disposant devant la fente du collimateur des feuilles de platine mobiles qu'on écarte ou qu'on rapproche à volonté suivant la hauteur du faisceau lumineux qu'on veut laisser pénétrer par la fente. Du reste, beaucoup de spectroscopes sont actuellement munis d'un dispositif remplissant ce but, et notamment les grands instruments construits par M. Hilger.

Je me suis déjà suffisamment expliqué sur le brûleur de Bunsen; je puis donc me dispenser d'en parler de nouveau.

Du chalumeau. — Quant à l'appareil employé pour obtenir soit la flamme de l'hydrogène ou le dard aérhydrique, ou le dard oxyhydrique, ou le dard aércarbohydrique, ou le dard oxycarbohydrique, il a consisté dans un tube

Digitized by Google

de platine, d'argent, ou de cuivre, suivant les circonstances, courbé, vers son extrémité libre, à angle droit, surmonté d'un ajutage de *platine,* d'*argent* ou d'*or pur*. L'ajutage était percé d'une ouverture d'un *demi* ou d'*un millimètre* environ de diamètre, d'après la longueur de la flamme que je voulais obtenir à pression constante, de deux ou de *quatre centimètres* d'eau, mesurée à l'aide d'un manomètre interposé entre le chalumeau et les gazomètres. J'ai eu recours à un ajutage de platine percé d'une fente de *deux dixièmes de millimètre* environ de largeur sur 1 centimètre de longueur, lorsque je voulais obtenir une simple lame d'hydrogène enflammé. Avant d'être adaptés au tube recourbé, les ajutages ont toujours été lavés successivement à l'eau acidulée à l'acide fluorhydrique, à l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique, puis à l'eau pure et enfin chauffés au rouge.

Pour me garantir contre les explosions, je me suis servi, *comme chalumeau,* de l'appareil, parfaitement connu, employé par M. G. Matthey pour la soudure autogénique du platine. Le mélange des gaz utilisés s'y règle à volonté, grâce aux robinets qui y sont adaptés.

Je crois devoir rappeler qu'il est indispensable de *laver* et de *tenir humectées* d'eau pure toutes les surfaces internes du chalumeau pour empêcher la présence et, par suite, l'entraînement de poussières sodiques adhérentes. Le tube terminal du chalumeau était fixé dans une pince se mouvant à crémaillère sur un support vertical. Les dispositions étaient telles que je pouvais, à volonté, avoir, à une hauteur déterminée, un jet *vertical, horizontal* ou *incliné,* suivant les nécessités auxquelles j'avais à satisfaire.

Dans la notice sur *la position* de la raie thallique du spectre de flamme et du spectre électrique, je m'étends longuement sur l'emploi du dard du chalumeau aérhydrique ou aércarbohydrique.

Des gaz employés. — Dans toutes mes recherches de *principe,* j'ai employé exclusivement de *l'air* de *l'oxygène,* de *l'hydrogène* et *du gaz* de *l'éclairage* emmagasinés depuis *vingt-quatre* heures *au moins* dans de grands gazomètres, sur de l'eau de source privée de matières organiques, rendue alcaline par de la chaux ou de la baryte pour absorber l'anhydrique carbonique. Le gazomètre destiné à contenir l'oxygène était celui de Pepys; sa capacité était

Digitized by Google

d'un mètre cube environ; il était construit en cuivre rouge, et pouvait résister à une pression intérieure de cinq atmosphères. Les gazomètres destinés à servir de réservoir à l'air, à l'hydrogène, au gaz de l'éclairage étaient à *cloche* parfaitement équilibrée par des contrepoids; ils étaient confectionnés en tôle de fer zingué; leur capacité était de *cinq mètres cubes* environ et ils étaient placés dans le sous-sol de la vaste salle d'expérience, où l'eau alcaline contenue dans le réservoir était mise, pendant l'hiver, à l'abri de la congélation.

Tous les tubes de raccordement des gazomètres au chalumeau étaient de plomb. Ils étaient longs et très flexibles, de manière à se prêter aisément à toutes les exigences. Ils avaient été lavés successivement à l'eau ammoniacale, à l'eau pure, puis à l'eau acidulée par l'acide sulfurique; enfin à l'eau pure, en ayant soin de laisser leur paroi interne mouillée.

Ce n'est que dans les conditions que je viens d'exposer que je suis parvenu à me procurer de l'air, de l'oxygène et de l'hydrogène dépouillés complètement de sodium. J'ai trouvé constamment privé de sodium le gaz de l'éclairage puisé directement à la canalisation.

De l'air. — J'ai exposé déjà les moyens auxquels j'ai eu recours pour obtenir de l'air débarrassé de poussières sodiques; je n'y reviendrai pas.

De l'oxygène. — L'oxygène a été préparé par l'action de la chaleur sur un mélange de chlorate de potassium et d'*oxyde rouge de manganèse, calciné et lavé.* Avant de le laisser pénétrer dans le gazomètre rempli d'eau alcaline, on l'a fait passer au travers de trois très grands flacons tubulés, contenant le premier une solution concentrée d'hydrate de potassium et les deux autres de la pierre ponce concassée imbibée d'une solution saturée du même hydroxyde. Après vingt-quatre heures de repos, il est privé de toute trace de composé potassique ou sodique.

De l'hydrogène. — J'ai rencontré des difficultés extrêmes à me procurer de l'hydrogène pur, c'est-à-dire brûlant dans l'*air pur* avec une flamme *obscure* et ne donnant ni raie sodique ni indice de spectre continu.

Je commencerai par avouer que j'ai complètement échoué dans toutes les tentatives que j'ai faites pour obtenir de l'hydrogène brûlant avec une flamme

Digitized by Google

obscure, lorsque je le consumais à mesure que je le produisais. Ainsi l'hydrogène provenant de l'électrolyse de l'eau acidulée à l'aide de l'acide sulfurique, en présence du zinc pur amalgamé pour retenir l'oxygène, ne réalise pas cette condition. Il faut de toute nécessité le faire traverser l'eau pure *en ébullition,* condenser la vapeur d'eau dans un réfrigérant métallique, le recueillir et le conserver au moins vingt-quatre heures sur de l'eau pure. J'en dirai autant de l'hydrogène préparé à l'aide du zinc et de l'acide sulfurique dilué au dixième. Quel que soit le degré de pureté du métal, de l'acide et de l'eau, l'hydrogène produit, allumé au bout d'un ajutage de platine privé de poussière et qui a été chauffé au blanc, puis rapidement refroidi, brûle dans l'air pur, avec une flamme teintée de jaune *rougeâtre,* s'il n'a pas traversé de l'eau pure en ébullition, et si ensuite il n'a pas séjourné sur l'eau pure.

L'hydrogène employé pour toutes mes expériences de principe, a été obtenu à l'aide du zinc préparé expressément pour ces recherches, et dont la quantité consommée a dépassé 40 kilogrammes. Il était privé de toute trace de charbon, d'arsenic et d'autres substances susceptibles de former une combinaison gazeuse. Il provenait de calamines pures et avait été redistillé en grand avec de l'oxyde de zinc fortement calciné pour éliminer toute trace de charbon, et condensé dans un récipient en argile réfractaire [1].

[1] L'hydrogène servant à alimenter le chalumeau aérhydrique a été obtenu à l'aide du zinc de calamines pures, maintenu longtemps en fusion, sous une agitation continue, avec 5 °/₀ de son poids de litharge pulvérisée après avoir été fondue. L'alliage de zinc et de plomb produit ainsi est privé de toute trace de carbone; il attaque l'acide sulfurique dilué au $^1/_{10}$ avec une facilité extrême et fournit l'hydrogène qui, après avoir séjourné vingt-quatre heures dans un gazomètre en contact avec de l'eau de source privée de matière organique, rendue alcaline, brûle avec une flamme obscure dans l'air pur. Après avoir constaté que l'hydrogène obtenu par l'action du zinc plombé sur l'acide sulfurique dilué se dépouille complètement, par son séjour sur l'eau alcaline, de la faculté qu'il possède de brûler avec une flamme très légèrement éclairante, j'ai consommé directement cet hydrogène pour l'usage du chalumeau aérhydrique. Mais, dans ce cas, j'ai toujours interposé entre le flacon de plomb producteur du gaz, muni de robinets de fermeture, et le chalumeau destiné à sa consommation, un flacon de verre à *deux* robinets de fermeture, de 12 litres de capacité, remplis de menus cassons de pierre ponce, mouillés d'une solution saturée d'hydroxyde de potassium, et un gazomètre à cloche en zinc, *équilibré*, de 1 mètre cube de capacité, flottant sur de l'eau de source, rendue alcaline par de la baryte.

Digitized by Google

J'ai facilité le dégagement d'hydrogène en faisant réagir le zinc sur de l'eau pure, bouillie, à laquelle on ajoutait petit à petit de l'acide sulfurique étendu de son volume d'eau *saturée de sulfate de cuivre*, de manière à obtenir un courant régulier de gaz.

En plaçant le vase à dégagement, de verre et le plus souvent de plomb, dans un bain d'eau constamment renouvelée pour empêcher l'élévation de la température, on peut obtenir ainsi de l'hydrogène privé d'acide sulfureux ou d'acide sulfhydrique. Du reste, lors de mes premiers essais, j'ai eu soin, avant de laisser pénétrer l'hydrogène dans le gazomètre, de le faire passer au travers d'un très grand flacon entièrement rempli de pierre ponce concassée en très menus fragments et mouillée d'une solution d'hydrate de potassium et d'un second très grand flacon également rempli de petits cassons de pierre ponce mouillés d'une solution de sulfate d'argent dans de l'eau fortement acidulée par l'acide sulfurique. Lorsque le dégagement d'hydrogène n'a pas dépassé *cent litres par heure*, et qu'on a eu soin de maintenir à basse température le vase à dégagement de verre ou de plomb, il m'a été impossible de constater la formation soit du sulfite ou du sulfure de potassium, soit du sulfure d'argent.

Cet hydrogène recueilli dans le gazomètre et essayé immédiatement après sa préparation, même après avoir traversé de l'eau pure en ébullition, brûle avec une flamme très légèrement éclairante, tantôt faiblement *jaunâtre*, tantôt faiblement *orangée* ou même *rougeâtre*, mais on constate qu'à mesure qu'on l'abandonne sur l'eau rendue alcaline par de la chaux ou de la baryte, il perd cette propriété au point de s'en dépouiller complètement. Malgré les essais nombreux auxquels je me suis livré, je ne suis pas parvenu à déterminer la nature de la substance qui imprime à l'hydrogène la propriété de brûler avec une flamme *légèrement rougeâtre* [1]. Dès que la flamme a la moindre teinte *jaunâtre*, l'analyse prismatique y dénote la raie sodique D. Afin de me mettre à l'abri des impuretés de l'air, j'ai eu soin, lors de mes essais, d'effectuer la combustion de l'hydrogène dans une cloche à douille à bords dressés et doucis, de 20 litres de capacité, renversée, fermée par un

[1] Pour les recherches faites à ce sujet, voir la note, pages 29 et suivantes.

Digitized by Google

plan de métal dressé et poli, à bords recourbés, maintenu à basse température par de l'eau froide renouvelée. La cloche, dont les parois étaient mouillées, était remplie d'air constamment renouvelé par le *haut* et privé de poussières sodiques en suspension par le moyen indiqué ci-dessus. Pour pouvoir effectuer convenablement le renouvellement de l'air, un robinet de métal était vissé au centre du plan troué, et le robinet était mis directement en communication avec le gazomètre à cloche rempli d'air purifié. J'ai pu m'assurer ainsi que la coloration de la flamme de l'hydrogène tient aussi souvent à l'air ambiant qu'à l'hydrogène lui-même, et que ce dernier cas se présente *toujours lorsqu'on essaye de consommer le gaz immédiatement après sa production.*

Dans l'air pur et dans l'obscurité complète, l'hydrogène pur, émané d'un chalumeau de platine parfaitement propre, brûle avec une flamme tellement dépourvue d'éclat, *si peu lumineuse,* que souvent j'ai été obligé de recourir à l'introduction d'un fil fin de platine pour la découvrir. L'obscurité de la flamme de l'hydrogène est du reste mise en évidence par l'introduction de l'oxygène, et même de l'air pur. Ainsi lorsque, par l'arrivée de l'oxygène, la hauteur de la flamme est diminuée de *moitié,* l'hydrogène en combustion devient INCANDESCENT, c'est-à-dire *lumineux,* et on aperçoit *une illumination d'un bleu d'azur, d'une pureté extrême,* bien entendu si l'air et l'oxygène amenés sont privés de poussières sodiques. Si l'hydrogène ou l'air renferme des traces de sodium, l'illumination est d'un bleu pâle légèrement verdâtre. Je l'ai déjà dit, dès que l'hydrogène est porté à l'incandescence, le platine y entre en pleine fusion, et l'analyse prismatique de la flamme permet de constater l'apparition d'un spectre *continu.* En augmentant le volume de l'oxygène ajouté, de manière à réduire la flamme de près des quatre cinquièmes de sa hauteur, la coloration bleue n'est pas augmentée, elle semble au contraire sensiblement diminuée; toutefois le spectre continu observé acquiert plus d'éclat, on voit quelques indices de formation de raies; mais malgré tous les efforts faits, il m'a été impossible de préciser leur position dans l'espace spectral qui, je le répète, est *trop fortement illuminé.*

Par la méthode que j'ai pratiquée, je ne suis pas parvenu à faire brûler l'hydrogène dans un excès d'oxygène; toutes les fois que j'ai amené un

Digitized by Google

volume d'oxygène dépassant sensiblement la moitié du volume de l'hydrogène, la combustion a commencé dans l'ajutage de platine et s'est propagée de celui-ci au conduit du chalumeau lui-même qui, quoique de platine, a subi un commencement de fusion. Je considère comme irréalisable la combustion de l'hydrogène dans un excès un peu notable d'oxygène, à l'aide du chalumeau employé par M. G. Matthey, lors même qu'on exerce une pression de deux atmosphères sur les gaz employés.

Du gaz de l'éclairage. — Lorsque l'air est *pur,* le gaz de l'éclairage, pris directement à la canalisation, brûle à la lampe de Bunsen, au chalumeau, ou au chalumeau alimenté à l'air ou à l'oxygène, sans fournir à l'analyse prismatique trace de raie sodique. Lors de l'étude que j'ai faite du spectre du gaz de l'éclairage, j'ai recherché si la présence de l'ammoniaque ou de composés cyaniques y imprime des modifications. J'ai, à cet effet, comparé le spectre du gaz oxycarbohydrique obtenu à l'aide du gaz puisé directement à la canalisation ou conservé dans un gazomètre où il avait été emmagasiné, après avoir été au préalable dépouillé d'ammoniaque et de composés cyaniques par son passage au travers de flacons remplis de pierre ponce concassée et mouillée respectivement d'une solution saturée d'hydrate de potassium et d'acide sulfurique dilué de son volume d'eau. Je n'ai constaté aucune différence entre les spectres obtenus avec le gaz ordinaire, ou avec le gaz ainsi purifié.

Dans le but d'épargner autant que possible l'emploi du gaz oxhydrique, à cause de la difficulté que présente la préparation de l'hydrogène réalisant toutes les conditions voulues, j'ai eu souvent recours au gaz oxycarbohydrique pour éliminer, des composés, le sodium qui y est accidentellement contenu. J'ai également utilisé le dard oxycarbohydrique, dont le maniement est incomparablement plus facile, pour contrôler les résultats fournis par le chalumeau oxhydrique. Ces nécessités m'ont déterminé à étudier la flamme oxycarbohydrique fournie par le gaz de l'éclairage respectivement sous pression de *quatre* et de *quinze* centimètres d'eau. Les résultats ayant été les mêmes, je vais me borner à indiquer ici les données fournies à la pression constante de *quatre* centimètres d'eau.

Digitized by Google

Les surfaces internes des tubes de conduite et du chalumeau étant complètement mouillées, le jet de gaz sortant du chalumeau de platine ayant une ouverture de 1 millimètre de diamètre, produit une flamme lumineuse ayant 25 centimètres de hauteur et 1 $^1/_2$ centimètre de diamètre. En faisant arriver de l'oxygène jusqu'à la disparition complète de *tout pouvoir éclairant* de la flamme, sa hauteur se réduit à 17 centimètres et son diamètre à 7 ou 8 millimètres.

Dans l'air *pur*, cette flamme est d'un bleu foncé et pur, *dépourvue de tout cône interne*, son analyse prismatique fournit un espace spectral absolument *obscur*. En augmentant successivement l'arrivée de l'oxygène, on diminue l'intensité colorante de la flamme et on augmente son intensité lumineuse; de bleu foncé elle devient d'un *bleu d'azur*. Il se forme en même temps un cône interne fortement lumineux, d'un bleu pur pâle en l'absence de sodium et d'un bleu pâle verdâtre en tant qu'il y ait la moindre trace de sodium. L'analyse prismatique de la flamme bleu d'azur et du cône interne permet de constater l'apparition d'un spectre hydrocarboné. J'ai trouvé que l'*intensité lumineuse était la plus grande* et le *spectre le plus complet* lorsque le cône interne, haut d'abord de 9 à 10 centimètres, était ramené à environ 5 centimètres. Quelle que soit la hauteur du cône interne, le *facies* du spectre de ce cône est le même; il se compose de *six bandes* parfaitement délimitées et dégradées de gauche à droite : *une* bande d'un rouge brun, *deux* bandes d'un vert différent, et *trois* bandes d'un bleu pur. Les bandes se définissent en raies dont le nombre varie suivant l'intensité lumineuse du cône. Au maximum de cette intensité, observée au *sommet* ou *sur l'un des côtés du cône,* les bandes se composent :

1° La bande *rouge,* de *quatre* raies fines, très brillantes, situées de 43 à 49 du micromètre de mon spectroscope Steinheil, dont je donnerai plus loin la valeur en fonction des raies A, B, C, D, E, *b*, F, G, H H de von Fraunhofer[1];

2° La première bande d'un *vert livide,* de *quatre* raies fines, très brillantes, situées de 56 à 66 du même micromètre;

[1] Je m'abstiens de donner la position exacte de chacune des raies et des bandes du spectre hydrocarboné, par la raison que la proximité de beaucoup d'entre elles les fait tomber dans la limite d'erreur que l'on commet dans la mesure de cette position.

Digitized by Google

3° La seconde bande d'un *vert pur*, de *trois* raies très brillantes, situées de 72 à 77 du même micromètre;

4° La première bande *bleue*, de *cinq* raies fines, moins brillantes, situées de 90 à 96 du micromètre;

5° La deuxième bande *bleue*, de *quatre* raies peu brillantes, situées de 113 à 115 du micromètre;

6° La troisième bande *bleue*, d'une raie *unique*, très peu brillante, large, occupant les divisions 117 et 118 du micromètre.

Lorsque le maximum de l'intensité lumineuse n'est pas atteint, mais que cependant les bandes sont déjà délimitées en raies parfaitement distinctes, la seconde bande *verte* ne se compose que de deux et la première bande bleue n'est formée que de quatre raies, au lieu de l'être respectivement de trois et de cinq raies.

Le spectre hydrocarboné généralement admis se rapporte donc à un spectre *incomplet*. La corrélation existant entre le nombre de raies du spectre hydrocarboné et son intensité lumineuse est manifeste, et l'influence de l'élévation de la température sur ces deux ordres de faits me semble indiscutable.

J'ai exécuté une série d'essais pour m'assurer de l'influence des raies du spectre hydrocarboné sur les spectres que je m'étais proposé d'étudier dans les différentes conditions, et j'ai reconnu avec certitude que le spectre du sodium, du potassium, du thallium, du lithium, du calcium, du strontium et du baryum est *identique* lorsqu'on l'observe à la température la plus élevée qu'on peut produire *soit au chalumeau oxhydrique*, soit au *chalumeau oxy-carbohydrique*. Quand on a déterminé l'APPARITION du spectre hydrocarboné, il suffit de répandre dans la partie du dard considérée un composé de sodium, de potassium, de thallium, de lithium, de calcium, de strontium ou de baryum, pour éteindre instantanément et complètement toutes les raies du spectre hydrocarboné et pour remplacer ses bandes et ses raies caractéristiques par les raies caractéristiques de chacun de ces métaux [1]. Le doute

[1] J'appelle *apparition* du spectre hydrocarboné la *visibilité* des raies et des bandes caractéristiques du spectre observée lors de l'analyse prismatique du cône interne du chalumeau oxycarbohydrique, et de même je désigne sous le nom d'*extinction* la *non-visibi-*

Digitized by Google

n'est possible que pour les raies vertes, produites à température excessivement élevée, par les composés de baryum. Ce métal possède lui-même une bande formée de raies vertes, très fines, reconnues par M. Bunsen, qu'on peut confondre avec les raies vertes du spectre hydrocarboné.

Je m'expliquerai sur ce sujet lorsque j'exposerai le résultat de mes études sur ces derniers composés.

Les radiations des composés métalliques que je viens de citer, éteignent, c'est-à-dire rendent invisible, la radiation de l'hydrogène carboné en

lité des raies et des bandes *déjà* apparues. J'admets en principe qu'un spectre formé de raies et de bandes peut exister dans l'espace spectral, sans qu'il soit visible par l'œil le plus perçant. Ainsi, lorsqu'on fait, à l'aide d'un spectroscope d'un pouvoir absorbant *faible*, et muni d'un micromètre à projection lumineuse, l'analyse prismatique d'une *courte* étincelle d'induction *non* condensée, jaillissant même entre des pointes de platine, dans de l'air *privé de sodium*, et qu'on s'abstient d'éclairer l'espace spectral, on observe *toujours* un spectre formé de raies et de bandes atmosphériques, sur fond *absolument obscur*. En éclairant ensuite l'espace spectral, soit par la lumière du gaz, soit par les radiations émises par un sphéroïde de platine porté à l'incandescence, on éteint instantanément le spectre des bandes et raies atmosphériques; l'œil cesse de l'apercevoir. Les bandes et les raies sont remplacées dans ce cas par une simple *illumination*, ou par *un spectre continu* dont l'intensité est en rapport à la fois avec l'intensité du spectre des raies atmosphériques et avec l'intensité de la source lumineuse. L'observateur peut à volonté, et indéfiniment, faire apparaître ou disparaître les deux ordres de phénomènes. Lors de la revision, avec M. le professeur Depaire, de mes études spectroscopiques, nous avons eu très souvent l'occasion de constater la parfaite exactitude des faits consignés ci-dessus, et de nous convaincre de l'impossibilité de réaliser, par l'analyse prismatique, même d'une courte étincelle d'induction, *non* condensée, un espace spectral dépourvu de raies et de bandes atmosphériques, en nous abstenant d'éclairer le micromètre par une projection lumineuse. L'éclairage du micromètre, en éteignant le spectre des raies atmosphériques, l'a toujours remplacé soit par une illumination indéfinissable, soit par un spectre *continu* plus ou moins prononcé.

Il est certain, à mes yeux, que dans un espace spectral OBSCUR *on ne peut pas réaliser un spectre de l'étincelle privé de raies et de bandes atmosphériques.*

J'insiste sur cette conclusion parce qu'elle est contraire à des faits consignés dans différentes notices, à la rédaction desquelles je ne veux apporter aucune modification. J'ai rédigé ces notices au fur et à mesure de l'exécution des expériences; elles relatent donc exactement mes observations. La différence entre ce que j'ai vu et ce que j'aurais dû voir, dépend évidemment des conditions dans lesquelles je me suis placé, et qui n'étaient pas celles que j'aurais dû choisir. Je suppose, en effet, que pendant l'expérience j'ai éclairé l'espace spectral, afin de connaître le nombre et la position des raies produites, tandis que j'aurais dû laisser cet espace obscur pour pouvoir m'assurer de la présence ou de l'absence de bandes et de raies atmosphériques.

Digitized by Google

combustion dans l'oxygène. Les vapeurs du thallium et du sodium, celles du thallium surtout, éteignent le plus facilement les raies hydrocarbonées, et il faut porter à la température la plus élevée possible, les vapeurs des composés de baryum pour qu'elles fassent disparaître complètement le spectre hydrocarboné.

Du reste, cette faculté d'extinction, on la constate pour les corps les uns vis-à-vis des autres. Ainsi la *flamme* thallique éteint les radiations barytiques au point de faire disparaître même le spectre de l'étincelle chargée de baryum. Je reviendrai sur ce sujet en exposant mes études sur le spectre du thallium.

L'expérience m'a fait reconnaître qu'en tenant compte des conditions indiquées ci-dessus, on peut se servir indifféremment, ainsi que je l'ai fait, du chalumeau oxhydrique ou du chalumeau oxycarbohydrique. En tout cas, j'ai constamment contrôlé mes observations les unes par les autres.

L'analyse prismatique de l'arc électrique, jaillissant entre des électrodes de charbon *purifié* [1], et saturé d'un composé d'un des métaux indiqués ci-dessus, conduit à des résultats autres que ceux fournis par l'analyse spectrale du dard oxycarbohydrique saturé d'un composé de ces mêmes métaux.

Quelle que soit l'intensité du courant produisant l'arc, la saturation de celui-ci par l'un des composés métalliques cités, n'éteint pas les raies électriques du carbone, dès qu'elles ont apparu. L'espace spectral qu'on aperçoit renferme à la fois, *avec leur physionomie propre,* les raies et les bandes caractéristiques du carbone et les raies et les bandes caractéristiques du composé du métal introduit dans l'*arc.* Cet espace spectral représente la juxtaposition des raies et bandes des deux spectres.

En employant des électrodes de charbon pour produire l'arc, j'ai été obligé de recourir à un travail de sélection des raies pour faire la part qui revient au spectre du carbone et au spectre du corps introduit dans l'arc. J'ai exécuté ce travail de triage pour l'arc saturé d'un composé de chacun de ces métaux.

[1] Dans une note jointe à l'introduction du mémoire sur l'*Argent*, j'ai exposé la méthode suivie pour obtenir le charbon purifié.

Digitized by Google

Pour pouvoir opérer la sélection, j'ai étudié d'abord le spectre du carbone dans l'arc, en me servant du spectroscope que j'avais employé pour l'examen du *cône interne* du dard oxycarbohydrique porté au *maximum* d'intensité lumineuse, examen dont j'ai consigné les résultats plus haut.

En exécutant ce travail délicat, j'ai reconnu, ainsi que M. Fievez l'a fait [1], l'identité du *nombre* et de la *position* des raies et des bandes du spectre électrique du carbone, avec le *nombre* et la *position* des raies et des bandes du spectre de *flamme* du gaz oxycarbohydrique.

J'ai reconnu cette identité pour un arc variant de 4 à 25 millimètres de longueur, ayant recours au spectroscope primitivement employé par moi et à des spectroscopes différents, ainsi que je le dirai plus loin.

En *superposant* le spectre hydrocarboné au spectre électrique du carbone, et en constatant, par cette voie, l'identité du nombre et de la position des raies et des bandes des deux spectres, j'ai reconnu que les raies et les bandes du spectre électrique du carbone se détachent *constamment* sur un spectre *continu. Ce spectre continu fait défaut dans l'espace spectral du spectre hydrocarboné* COMPLÉTÉ, quel que soit le spectroscope employé.

A cause de la présence d'un spectre continu plus ou moins intense, suivant l'intensité lumineuse de l'arc jaillissant entre des électrodes de charbon, en introduisant dans l'arc un composé dont je voulais déterminer le spectre électrique, j'ai *constamment* placé le spectroscope employé à l'analyse prismatique de l'arc, à une distance convenable pour diminuer, dans la limite du possible, l'intensité du spectre continu, tout en laissant aux raies et bandes du composé métallique une intensité lumineuse suffisante pour en permettre la sélection avec les raies et bandes électriques du carbone qui conservent, quoique allant en s'affaiblissant, une intensité lumineuse, à mesure de l'éloignement, assez prononcée pour se prêter à un triage parfaitement exact.

On sait du reste qu'en se servant dans l'air, ou dans l'hydrogène, d'une forte étincelle, *même courte*, ou de la décharge électrique saturée d'un

[1] *Nouvelles recherches sur le spectre du carbone*, par CH. FIEVEZ (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, 3e sér., t. XIV, p. 100).

Digitized by Google

composé métallique, il est nécessaire de recourir également à un travail de triage pour faire la part qui revient, dans le spectre observé, au composé métallique, aux bandes et raies atmosphériques, ou aux raies de l'hydrogène produites en même temps. A mon avis, la sélection des bandes et raies carboniques d'un arc produit par un courant, quoique très fatigante pour la vue, est plus facile, à cause de la netteté de ces raies, que celle des bandes et raies atmosphériques de l'étincelle et de la décharge électriques qui, quoi qu'on fasse, restent toujours plus ou moins diffuses, masquent très souvent la netteté de contour des raies des composés métalliques juxtaposées ou existant dans leur proximité.

Quoi qu'il en soit de toutes ces difficultés, j'ai eu recours, *comme moyen de contrôle,* à ces divers modes de production du spectre électrique des corps sur lesquels ont porté mes investigations.

Des supports employés pour l'élimination du sodium accidentel des composés destinés à être réduits en vapeur.

J'ai déposé sur des feuilles de platine, ou des plaques de charbon de cornue purifié, planes ou concaves, fixées horizontalement, les composés métalliques sur lesquels je voulais lancer le dard *aérhydrique, aércarbohydrique, oxhydrique* ou *oxycarbohydrique* pour en éliminer le sodium accidentel. A l'occasion de chaque cas particulier, je ferai connaître, avec les détails nécessaires, les mesures que j'ai prises pour atteindre le but. Je dirai toutefois que l'expérience m'a prouvé que la chaleur et le courant produits par le dard du chalumeau aérhydrique et par le dard du chalumeau aércarbohydrique, sont parfaitement suffisants pour effectuer l'élimination complète du sodium, que la pression supportée par les gaz à l'*intérieur* du chalumeau ne doit pas dépasser *quatre* centimètres d'eau, et qu'en règle générale une pression de *deux* centimètres d'eau suffit amplement. Lorsqu'on dépasse une pression de quatre centimètres, comme c'est presque toujours le cas, en utilisant directement l'air fourni par une trompe à eau, le courant emporte avec lui les composés pulvérulents et entraîne ainsi la perte de la majeure partie du corps soumis à la purification.

Digitized by Google

Qu'on se serve du chalumeau aérhydrique ou du chalumeau aércarbohydrique, les gaz doivent être fournis par des *gazomètres équilibrés*, de manière à exercer la pression constante voulue.

La même observation est applicable aux chalumeaux oxhydrique et oxycarbohydrique lorsqu'il s'agit soit de l'élimination du sodium contenu dans les composés mis en expérience, soit de leur réduction en vapeur pour soumettre à l'analyse prismatique le dard qui est saturé de vapeur.

Des supports employés pour l'introduction des composés dans les flammes, dans l'étincelle, la décharge et l'arc électriques.

J'ai nécessairement approprié les supports aux exigences multiples auxquelles j'ai eu à satisfaire. Je vais exposer succinctement les dispositions que j'ai prises à cet effet.

a. *Des supports employés pour introduire et vaporiser les composés dans les flammes dont la température est* INFÉRIEURE *au point de fusion du platine.* — Lorsqu'il s'est agi d'introduire dans la flamme de la lampe de Bunsen, ou dans l'hydrogène en combustion dans l'air, ou dans le dard *vertical* du chalumeau aérhydrique ou aércarbohydrique, un composé pour le réduire en vapeur, je me suis servi du support ordinaire, c'est-à-dire d'un fil très fin de platine pur, à bout simplement recourbé en crochet, ou terminé en boucle de deux à trois millimètres de diamètre, ou en spire tronconique, mais lorsque j'ai lancé le dard de l'hydrogène en combustion dans l'air, ou le dard aérhydrique ou aércarbohydrique sur un composé pour saturer le dard de la vapeur de celui-ci, j'ai déposé le composé sur une feuille mince de platine pur, *plane* ou *concave*. Si le composé était *pulvérulent et infusible*, je l'ai réuni en tas conique de cinq à dix millimètres de hauteur sur la feuille plane de platine, et après avoir rendu le dard *horizontal*, je l'ai lancé sur le sommet du cône; quand le composé était *fusible, décomposable* ou *non* par la chaleur, je me suis servi d'une feuille de platine pur, ayant une forte concavité. Au centre de la concavité, j'ai placé un cône en mousse *très poreuse* de platine pur, percé au centre

Digitized by Google

d'une ouverture capillaire. Le sommet du cône dépassait de 5 à 6 millimètres la surface plane de la feuille de platine. Après avoir rougi la feuille et le cône de mousse de platine pour chasser le sodium accidentel, j'ai versé sur le cône le composé fondu sur lequel je voulais opérer, de manière à mouiller complètement le cône. J'ai lancé ensuite le dard sur le sommet du cône, en ayant soin de commencer par la pointe du dard et de finir par la partie la plus chaude.

b. *Des supports employés pour introduire et vaporiser les composés dans les flammes dont la température est voisine ou égale à celle du point de fusion du platine.* — La flamme obscure de l'hydrogène, rendue *incandescente* par l'introduction de l'oxygène, *sans qu'il y ait formation de cône interne,* et la flamme *bleu foncé* du gaz de l'éclairage, rendues *bleu d'azur* par l'introduction de l'oxygène sans formation de cône interne, réalisent la condition de température indiquée ci-dessus. Pour introduire, dans le dard *vertical* de ces flammes, un composé, je me suis servi d'un fil fin de platine pur ou d'un fil de platine *iridié* à 20 °/₀ d'iridium, terminé en boucle et recouvert l'un et l'autre d'iridium pur, pour leur permettre de supporter une température notablement supérieure au point de fusion du platine. Le fil de platine iridié a été préparé, en 1878, par M. Georges Matthey, pour les travaux du Comité international des poids et mesures. L'alliage de platine et d'iridium à 20 °/₀ est aussi malléable et aussi ductile que le platine pur [1].

Je suis parvenu à recouvrir le fil de platine et le fil de platine iridié d'une couche convenable de *blanc* d'iridium, parfaitement adhérente et partiellement alliée au platine et au platine iridié, en saupoudrant de *noir* d'iridium par le fil préalablement mouillé de glycérine, et le portant ensuite dans le dard aércarbohydrique. En renouvelant l'opération un grand nombre de fois, suivant l'épaisseur relative à laquelle on veut atteindre, on peut se procurer ainsi des fils terminés en boucle ou en spirale, qui résistent parfaitement dans le dard oxycarbohydrique dans lequel le fil de platine pur entre en fusion. Mais si les fils ainsi préparés présentent l'avantage de

[1] *Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures; séances de 1878.* Paris, 1879.

Digitized by Google

résister à des températures très élevées, ils offrent l'inconvénient d'être cassants ou de le devenir, et d'être d'un maniement très difficile pour ne pas se briser lorsqu'il s'agit de faire adhérer à la boucle, ou d'introduire dans la spire tronconique, les corps qu'on veut réduire en vapeur.

Le fil de platine pur n'altère en rien la flamme bleue d'un brûleur de Bunsen, mais le fil de platine recouvert d'iridium lui communique une coloration persistante d'un *bleu violacé;* ce dernier fil n'altère en rien la couleur bleu d'azur de l'hydrogène porté à l'incandescence. L'analyse prismatique de cette dernière flamme permet d'apercevoir un spectre continu identique à celui fourni par l'hydrogène incandescent sans fil de platine recouvert d'iridium, preuve évidente qu'à cette température extrême, l'iridium ne s'oxyde et ne se volatilise pas, comme c'est le cas à une température moins élevée, ainsi que Sainte-Claire Deville, Debray et moi nous l'avons constaté.

On peut se procurer du noir d'iridium propre à cet usage en réduisant à basse température, celle de la volatilisation du chlorure d'ammonium, le chloro-iridiate d'ammonium par l'hydrogène ou simplement par le gaz de l'éclairage, et en remplaçant à chaud l'atmosphère d'hydrogène par l'azote pur.

Lorsque j'ai eu à lancer le dard *horizontal* de l'hydrogène porté à l'incandescence, ou le dard bleu d'azur du chalumeau oxycarbohydrique sur un composé, pour le réduire en vapeur, j'ai pris des dispositions différentes suivant que le corps à volatiliser était *infusible* ou *fusible.* Quand le composé était *pulvérulent et infusible*, je l'ai réuni en tas conique sur une feuille plane de platine ou sur une plaque de charbon de cornue purifié; quand, au contraire, le composé était *fusible*, je l'ai versé à l'état fondu sur un cône de mousse très poreuse d'*iridium* déposé dans une concavité pratiquée au milieu soit d'une feuille de platine pur ou iridié, soit d'une plaque de charbon de cornue purifié, le sommet du cône d'iridium dépassant de 5 à 6 millimètres le niveau plan de la feuille ou de la plaque, absolument comme je l'ai exposé ci-dessus. Il n'y a eu qu'une *substitution* de cône de mousse d'iridium à un cône de mousse de platine, employée en premier lieu.

Digitized by Google

c. *Des supports employés pour introduire et vaporiser les composés dans les flammes dont la température est voisine ou égale au point de fusion de l'iridium.* — Le cône *interne* du dard du chalumeau oxhydrique ou oxycarbohydrique, amené au minimum de longueur, présente la condition de température indiquée ci-dessus. Lorsqu'il s'est agi d'introduire un composé dans l'intérieur d'un cône interne d'un dard *vertical*, j'ai enveloppé complètement de ce composé, soit une forte aiguille de charbon de cornue purifié terminée en petit cône, soit une petite tige, *forgée au blanc*, en alliage d'iridium et de platine à 80 pour 100 d'iridium, terminée également en aiguille *couverte* d'iridium pur.

Lorsque l'aiguille de charbon de cornue est convenablement couverte d'un composé qui se fond sensiblement à la surface, elle résiste, avant de se brûler complètement, suffisamment longtemps pour permettre l'analyse prismatique de la flamme dans laquelle le composé est réduit en vapeur.

Les petites tiges terminées en aiguille, formées d'un alliage d'iridium et de platine, à 20 °/₀ de platine et couvertes d'iridium pur, résistent fort longtemps avant de fondre. L'aiguille terminale se courbe vers l'approche de son point de fusion et annonce ainsi, elle-même, la nécessité de la retirer du cône interne pour éviter la fusion.

Quand j'ai voulu lancer *horizontalement*, ou à peu près, le cône interne du duvet oxhydrique ou oxycarbohydrique sur un composé pour le réduire en vapeur, *sans emprunter de sodium aux supports*, j'ai rencontré de grandes difficultés; pour vaincre celles-ci, j'ai été obligé d'avoir recours à des moyens compliqués, qui m'ont entraîné à un travail long et dispendieux puisqu'ils ont exigé la préparation et l'emploi de très notables quantités de *blanc d'iridium pur*, de *plaques en iridium agglutiné par la chaleur*, et même d'*une coupelle en iridium fondu* [1].

Le premier moyen consiste dans l'emploi d'un lit plan, de 5 millimètres de hauteur, de blanc d'iridium pur, couvrant *complètement* un disque de charbon de cornue purifié et privé de sodium, de 3 centimètres de

[1] Dans une note jointe à cette introduction, j'expose les procédés auxquels j'ai eu recours pour la préparation de l'*iridium* et du *platine purs*, sous les différents états employés par moi pour l'exécution des travaux consignés dans le présent mémoire.

Digitized by Google

diamètre sur 5 millimètres d'épaisseur, encastré, à la profondeur de 6 millimètres, dans une cavité pratiquée dans un petit bloc de magnésie pure comprimée et durcie par son exposition à la chaleur blanche, confectionnée par feu le colonel Caron. Le bloc de magnésie, avant de recevoir le disque de charbon, avait été chauffé fort longtemps au dard aércarbohydrique pour chasser le sodium retenu opiniâtrement par la magnésie, lors même qu'elle est privée d'acide silicique.

Après avoir chauffé au dard aércarbohydrique, jusqu'à l'élimination complète du sodium emprunté à l'air, le lit de blanc d'iridium s'élevant de 2 à 3 millimètres au-dessus de la surface libre du bloc de magnésie, j'ai déposé à l'aide d'une pince de platine, au centre du lit, une petite plaque en iridium agglutiné au dard oxycarbohydrique, surmontée soit d'un cône formé d'un composé *infusible*, soit d'un cône *creux* en iridium agglutiné, couvert extérieurement d'un composé (oxychlorure, sulfate, ou carbonate) que je me propose de soumettre au cône interne du dard oxhydrique ou oxycarbohydrique pour le volatiliser et faire ensuite l'analyse prismatique de la vapeur produite.

Le second moyen réside dans le remplacement du lit de blanc d'iridium, perméable aux liquides, par une coupelle d'iridium *fondu*, imperméable aux liquides, encastrée, jusqu'à la moitié de sa hauteur, dans un petit bloc de magnésie pure, comprimée et durcie à la chaleur blanche longtemps entretenue, et chauffée au chalumeau oxycarbohydrique jusqu'à l'élimination complète du sodium accidentel. Le diamètre de la coupelle d'iridium fondu est de 3 centimètres, sur 8 millimètres de hauteur. Sa concavité a 4 millimètres de profondeur à son centre, et son poids est de 102^{gr},800. Je dois à l'amitié de M. G. Matthey la possession de ce vase *unique*, sans lequel il m'eût été impossible d'élever à la température du cône interne du dard du chalumeau oxhydrique la vapeur des composés du potassium, du sodium et du lithium. Lors de l'emploi de la coupelle, un cône creux d'iridium agglutiné était déposé au fond de sa concavité. Le sommet de ce cône dépassait de *deux* millimètres environ le niveau des bords plans du vase. Après avoir chauffé la coupelle et le cône y contenu au dard oxycarbohydrique à la température à *peu près voisine* du point de fusion du platine,

Digitized by Google

on l'a rempli complètement du composé liquéfié, destiné à être réduit en vapeur; au même moment on a lancé le cône interne du *dard oxhydrique* sur le sommet du cône mouillé de liquide, tandis que, disposant d'un spectroscope convenablement placé, nous procédions, M. Rommelaere et moi, à l'analyse prismatique des différentes parties du dard saturé de vapeur. Il est arrivé un grand nombre de fois que, en lançant le dard oxhydrique sur le sommet du cône d'iridium placé dans la coupelle d'iridium contenant du chlorure ou du sulfate alcalin chauffé au point de fusion du platine, ces composés se sont soulevés et ont été projetés au loin, en lançant des gouttelettes incandescentes. Pour nous mettre à l'abri du danger et pour protéger nos instruments, nous avons couvert nos personnes et les spectroscopes d'étoffes mouillées.

L'iridium n'éprouve aucune altération par le contact avec les chlorures et sulfates de potassium, de sodium et de lithium, et même de l'oxyde lithique, chauffés à la température la plus élevée à laquelle on puisse atteindre par le dard oxhydrique. Au contraire, les composés de calcium, de strontium et de baryum attaquent toujours superficiellement l'iridium, agglutiné ou fondu. Il se produit ainsi primitivement des combinaisons colorées renfermant du calcium, du strontium et du baryum. Ces composés, se décomposant ultérieurement, laissent l'iridium à l'état agglutiné.

J'ai procédé à la restauration des objets ayant servi aux expériences, en les traitant d'abord l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique, puis en les maintenant, pendant une heure au moins, dans un mélange de parties égales de bisulfates anhydres de potassium et de sodium chauffés au rouge sombre. Après les avoir lavés convenablement à l'eau, je les ai chauffés au dard aér-carbohydrique, tant qu'ils ont fourni trace du spectre du composé ayant eu le contact de l'iridium.

d. *Des supports employés pour répandre les composés dans l'étincelle ou la décharge électrique.* — Comme support des composés à volatiliser, je me suis servi de sphéroïdes de platine ou de sphéroïdes d'iridium de 3 millimètres de diamètre, soudés à un fil de platine de 1 millimètre de diamètre, ou bien de petits cônes de charbon de cornue purifié, engagés dans un fil de

Digitized by Google

platine. Les sphéroïdes de platine ou d'iridium et les petit cônes de charbon de cornue étaient *complètement* enveloppés des composés à l'état *anhydre* ou à l'état hydraté, et quelquefois simplement mouillés par une solution saturée des composés à volatiliser.

J'ai eu recours à des dispositifs différents suivant que j'ai fait jaillir l'étincelle ou éclater la décharge dans l'*air ambiant* ou dans l'*air purifié* ou dans l'*hydrogène pur*.

Lorsque j'ai opéré dans l'air *ambiant*, j'ai engagé et maintenu, à l'aide de vis de pression, dans deux anneaux séparés et isolés de métal, les fils de platine terminés par des sphéroïdes ou par de petits cônes de charbon recouverts des composés. Les deux anneaux étaient fixés sur une tige de verre verni, à l'aide d'ajutages à crémaillère mastiqués et isolés. La tige de verre était montée sur un support métallique; elle pouvait s'élever ou s'abaisser par le jeu d'une crémaillère dont le support était muni. Grâce à ces dispositions, on pouvait élever à une hauteur voulue les deux anneaux fixés sur la tige, amener ensuite à distance l'un de l'autre les sphéroïdes ou les cônes de charbon recouverts et faire jaillir l'étincelle ou éclater la décharge.

Après avoir disposé l'appareil devant et le plus près possible de la fente du collimateur et avoir garanti celle-ci des projections salines à l'aide de l'interposition d'une lame mince de mica, on pouvait à volonté laisser pénétrer par la fente dans le collimateur, soit les radiations du milieu de l'étincelle, soit de l'une ou de l'autre de ses extrémités.

Lorsque les sphéroïdes de platine ou les cônes de charbon étaient parfaitement recouverts des composés à réduire en vapeur, l'analyse prismatique de l'étincelle, et même de la décharge, n'a jamais laissé apparaître ni raie due au platine, ni raie due au carbone.

En opérant dans l'air *purifié* ou bien dans l'hydrogène *pur*, j'ai eu recours aux mêmes supports de fils de platine terminés par des sphéroïdes de ce métal ou d'iridium, ou des cônes de charbon de cornue recouverts complètement des composés à réduire en vapeur dans l'étincelle ou dans la décharge; mais, dans ce cas, j'ai disposé les fils de platine, à l'aide de bouchons bien lavés, dans un tube de verre ouvert par les deux bouts, de 2 à 3 centimètres de diamètre sur 10 centimètres de hauteur.

Digitized by Google

A une distance de 2 centimètres de chaque bout était soudé un petit tube de verre muni d'un robinet destiné à laisser passer et à *maintenir,* pendant le *jaillissement* des étincelles ou des décharges électriques, un courant d'air purifié ou d'hydrogène pur.

Quels que soient les soins pris pour monter l'appareil, il est impossible d'empêcher la diffusion du gaz contenu dans le tube avec l'air extérieur, et notamment lorsque le gaz est de l'hydrogène. Pour ce motif, il est indispensable de maintenir le courant pendant l'expérimentation, à moins de couvrir *complètement* d'un bourrelet de gomme-laque fondue ou de cire à cacheter, les bouchons adaptés au tube, ainsi qu'une partie de celui-ci.

En opérant avec l'*étincelle* dans l'air *ambiant* ou dans l'air confiné dans le tube, j'ai ou je n'ai pas constaté l'apparition des raies atmosphériques. Dans une note jointe à la page 54 de cette notice, je m'explique sur la cause de l'*apparition* et de la *non-apparition* des raies atmosphériques.

L'analyse prismatique de la *décharge* dans l'air m'a permis de constater *la présence constante* des raies atmosphériques juxtaposées aux raies du composé réduit en vapeur dans la décharge. Cette présence constante rend les observations de la décharge pénibles et souvent incertaines.

Le jaillissement de l'étincelle courte dans l'hydrogène a amené exclusivement l'apparition de la raie rouge de l'hydrogène avec le spectre du composé réduit en vapeur, tandis que la décharge dans l'hydrogène fait apparaître constamment les raies rouge et vert bleuâtre C et F jointes au spectre du composé réduit en vapeur; la raie F à l'état de bande dégradée à droite et à gauche. Quelle qu'ait été l'intensité de la décharge, il m'a été impossible de constater les autres raies de l'hydrogène.

Pour répandre une *solution saline* dans une étincelle ou une décharge électrique, j'ai pris un tube de verre blanc ouvert par les deux bouts, de 10 centimètres de longueur et de 3 centimètres de diamètre, muni latéralement, vers le haut et le bas, de robinets de verre destinés à livrer passage à un courant d'air purifié ou d'hydrogène pur. Sur le bout inférieur du tube j'ai adapté un bouchon de caoutchouc *naturel,* très légèrement conique, qui était traversé par une tige de platine de 3 millimètres de diamètre, terminée

Digitized by Google

en haut par un trépied de même métal et trouée en bas pour recevoir le contact de l'électrode positive.

J'ai déposé sur le trépied une capsule de platine ayant à peu près le diamètre du tube et contenant un cône creux de ce métal percé d'une ouverture capillaire, et dont le sommet dépassait de 2 millimètres environ la hauteur de la capsule. J'ai rempli ce vase de la solution saline destinée à être répandue dans l'étincelle ou la décharge jaillissant du liquide couvrant le sommet du cône.

Le bout supérieur du tube était muni d'un bouchon de caoutchouc *naturel* très légèrement conique, traversé par une tige de platine pur de 3 millimètres de diamètre, terminée en bas par une *pointe* et trouée en haut pour être mise en contact de l'électrode négative.

Avant de recevoir la solution saline à répandre dans l'étincelle ou la décharge, la capsule ainsi que le cône de platine y contenu, avaient été lavés à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, puis à l'eau pure et enfin rougis à blanc.

La pointe terminale de la tige de platine, avant d'être disposée verticalement à une distance de 2 à 3 millimètres du sommet du cône de platine, avait subi le même traitement que la capsule.

Grâce aux bouchons de caoutchouc naturel, ce dispositif d'appareil conserve parfaitement l'air et l'hydrogène purs qu'on y confine. En opérant dans l'air, le liquide étant *exclusivement* en contact du platine, ne fournit à l'analyse prismatique de l'étincelle saturée du liquide qui, par capillarité, monte à la surface du cône, que le spectre propre ou composé, auquel toutefois vient se joindre souvent la raie rouge de l'hydrogène. L'analyse de la décharge laisse apercevoir le même spectre auquel se juxtapose le spectre des raies atmosphériques. En effectuant le jaillissement de l'étincelle ou de la décharge dans l'hydrogène, on aperçoit le spectre du liquide salin, auquel s'ajoutent soit la raie rouge, soit la raie rousse et la raie d'un vert bleuâtre ou plutôt d'un bleu verdâtre de l'hydrogène.

Lorsqu'on substitue, comme on le fait généralement, à l'appareil disposé ainsi qu'il est dit ci-dessus, un tube de verre servant lui-même de réservoir à la solution saline, et qu'on prolonge un certain temps le jaillissement de

Digitized by Google

l'étincelle et surtout de la décharge, on constate que le spectre observé présente la raie sodique D et les raies calciques, lors même que la solution saline introduite dans le tube ne contient *ni sodium, ni calcium*. En effet, dans l'appareil généralement employé, le sodium et le calcium sont empruntés au verre, par suite de l'attaque qu'éprouve le tube entourant les fils de platine, et notamment le petit cône de verre qui laisse passer le fil servant d'électrode positive.

En employant l'appareil dont toutes les parties devant être mises en contact avec la solution saline sont formées de platine, la méthode qui consiste à effectuer l'analyse prismatique d'une étincelle ou d'une décharge saturée d'une solution saline, présente un avantage qui fait défaut à celle qui réside dans l'analyse prismatique de l'étincelle ou de la décharge effectuée entre des sphéroïdes ou des cônes enveloppés des composés solides, anhydres ou hydratés. En effet, dans le premier appareil, on peut produire au sein de l'air ou de l'hydrogène confiné les composés dont on veut saturer l'étincelle ou la décharge. En me fondant sur cette possibilité, j'ai essayé de résoudre la question de savoir si l'on peut se procurer, à l'aide d'oxyde calcique, d'acide chlorhydrique ou d'acide azotique, *privés de sodium*, du chlorure ou de l'azotate calcique *dissous*, qui, répandu dans l'étincelle ou la décharge, ne fournit pas à l'analyse prismatique la raie sodique, fait que je ne suis pas parvenu à réaliser avec ces composés produits en présence de *l'air ambiant*. J'ai constaté, en effet, cette possibilité, et je me suis assuré ainsi *avec certitude* que la présence du sodium dans le chlorure et l'azotate préparés en contact de l'air ambiant est due au sodium emprunté à l'atmosphère. Dans la notice sur le spectre de flamme et le spectre électrique du chlorure et de l'azotate calciques, j'expose les observations que j'ai faites à ce sujet.

Le mode d'expérimentation exposé ci-dessus présente un défaut que je dois signaler. Il s'en faut, et de beaucoup, que l'analyse prismatique d'une étincelle ou d'une décharge jaillissant d'une solution concentrée ou diluée, neutre ou acidulée, de tous les composés métalliques, fournisse toujours un spectre comprenant *toutes les raies caractéristiques de ces composés*. Dans un très grand nombre de cas, le spectre est incomplet.

Digitized by Google

Ainsi, quel que soit le spectroscope employé, l'analyse prismatique d'une étincelle émanée d'une solution d'un sel sodique, ne fait apparaître que le *tiers* seulement des raies dont se compose le spectre électrique des sels sodiques.

L'expérience m'a prouvé que la plus ou moins grande volatilité des composés n'est pas la cause de l'apparition de spectres complets ou incomplets; car l'étincelle, qui ne fournit à l'analyse que le tiers des raies composant le spectre électrique du sodium, fait apparaître un spectre électrique du baryum identique à celui de l'arc électrique barytique.

D'après mon expérience et le contrôle auquel j'ai soumis mes recherches en collaboration avec M. Depaire, ce mode d'investigation spectroscopique, quels que soient les services qu'il ait rendus, n'est propre qu'à donner des notions précises sur la *présence* ou sur l'*absence* d'un corps déterminé dans un composé soumis à l'analyse.

e. *Des supports employés pour volatiliser les différents corps dans l'arc électrique.* — Pour vaporiser, dans l'arc électrique, les différents corps sur lesquels ont porté mes investigations, j'ai commencé par agir de la même manière que pour répandre les mêmes corps dans une étincelle ou une décharge électrique; c'est-à-dire que je me suis servi de cylindres de charbon de cornue purifié, de longueur et de dimensions considérables, ayant leurs extrémités polaires recouvertes de ces corps, ainsi que je l'expose, du reste, dans les notices consacrées aux différents métaux et composés métalliques étudiés par moi. Mais j'ai reconnu bientôt les défauts, et je dirai même les erreurs de principe que comporte ce mode d'expérimentation. En effet, le courant voltaïque étant établi par la mise en contact des extrémités polaires et la fusion des composés qui les recouvrent, ces extrémités sont portées immédiatement à la plus vive incandescence. Cette incandescence perdure et s'accentue lors même que les électrodes restent en contact ou qu'on les sépare pour former l'arc électrique. L'ensemble des radiations des extrémités polaires et de l'arc électrique proprement dit, constitue *la lumière électrique.*

Mais dans ses recherches *Sur la température des extrémités polaires des charbons au moment où ils produisent la lumière électrique et sur la*

Digitized by Google

température de l'arc électrique [1], Rossetti a trouvé, pour l'extrémité polaire *positive*, une température maximum de 3900°, pour l'extrémité polaire *négative* une température d'environ 3150° et pour l'arc électrique la température de 4800°, quelles que soient l'épaisseur de l'arc et l'intensité du courant qui produit celui-ci.

De plus, en examinant de près l'arc qui s'élance entre les extrémités polaires, on s'aperçoit immédiatement que sa structure n'est pas simple. A son origine, c'est-à-dire au *cratère* d'où jaillit l'arc, il émet des rayons d'un *bleu d'azur*. Le *fuseau*, qui constitue l'arc proprement dit, présente une couleur d'un *bleu pourpré*. Cette différence de coloration entre l'arc à son origine et le fuseau, tient à ce que celui-ci est entouré d'une enveloppe gazeuse colorée en rose rouge, mais dont la coloration va en augmentant de la périphérie du fuseau vers la partie *bleu d'azur* du courant.

L'arc, à son origine, me semble constitué par un courant de *vapeur* de carbone, tandis que le fuseau se compose du même courant de vapeur de carbone, mais dont une partie est à l'état oxydé par son contact avec l'air atmosphérique qui afflue d'une manière continue autour de l'arc. La coloration de l'enveloppe du fuseau rappelle à s'y méprendre la teinte que prend le cône interne du dard oxhydrique lorsqu'on y plonge une aiguille de charbon de cornue purifié. Lors même que le dard oxhydrique renferme un *excès* considérable d'hydrogène par rapport à l'oxygène, le carbone y brûle avec le plus vif éclat et la flamme produite ainsi est ou rouge ou rose, suivant qu'on l'observe près du point d'immersion de l'aiguille dans le dard ou dans une partie éloignée de ce point. J'ai constaté la production de la même coloration rose rouge en distillant, dans le dard oxhydrique ou oxy-carbo-hydrique, de l'argent contenu dans un cylindre de charbon de cornue purifié. La flamme qui sort du cylindre est rose rouge, malgré l'énorme quantité de vapeur d'argent qu'elle renferme.

La température de l'enveloppe gazeuse qui entoure le fuseau est excessive. Elle dépasse de beaucoup le point de fusion de l'iridium pur, qui est celle du cône interne du gaz oxhydrique. En effet, de l'iridium pur

[1] *Annales de chimie et de physique*, 5e sér., t. XVIII, p. 476. Paris, 1879.

Digitized by Google

aggloméré attaché à une aiguille de charbon de cornue qu'on y fait pénétrer s'y fond très rapidement.

L'iridium pur qu'on fait tomber, à l'aide d'une petite spatule de charbon de cornue, dans le *cratère* d'un arc de *deux centimètres et demi* de longueur, s'y liquéfie instantanément et s'y réduit en vapeur au point de couvrir en peu de temps l'extrémité polaire négative de petits globules d'iridium fondu.

Les extrémités polaires émettent des radiations *calorifiques;* le fuseau émet à la fois des radiations *électriques* et des radiations *calorifiques,* ainsi que cela résulte de mes recherches sur le spectre calorifique et sur le spectre électrique du sodium dans l'arc électrique. Lorsqu'on projette sur la fente du collimateur d'un spectroscope un fuseau de rayons parallèles émanés à la fois des extrémités polaires et du fuseau, et qu'on a répandu dans l'arc des vapeurs d'un composé ayant un spectre calorifique et un spectre électrique *différents,* l'espace spectral contient les raies caractéristiques des deux spectres.

Il résulte de ces faits qu'en recourant à l'arc électrique pour étudier le spectre d'un corps, il est indispensable de diriger *séparément,* sur la fente du collimateur du spectroscope, un faisceau de rayons parallèles émanés des extrémités polaires, et un faisceau de rayons parallèles émanés du fuseau, ce que j'ai eu soin de faire dès que j'eus constaté la complexité de la lumière électrique.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

Essai sur la nature et la quantité de matières minérales solubles et insolubles existant dans l'air du haut de la ville de Bruxelles et dans l'eau de pluie, à des moments et dans des conditions donnés.

On sait, par les recherches exécutées dans des lieux différents et à des moments donnés, que l'air peut renfermer des composés solubles et insolubles de sodium, de calcium et de potassium mêlés à des silicates multiples insolubles. Feu Robert Angus Smith a résumé l'état de nos connaissances sur ce sujet dans son livre classique *Air and Rain* [1].

A en juger par l'intensité du trouble que l'analyse prismatique des flammes brûlant à des moments donnés dans l'air de la ville de Bruxelles et de ses environs, permet d'observer, on serait tenté de croire à l'existence, dans l'atmosphère de cette ville, de quantités notables de composés sodiques tels que chlorure et sulfate. Des recherches que j'ai instituées à des époques très différentes m'ont convaincu que cette opinion est erronée, au moins en ce qui concerne le haut de la ville, sur lequel ont porté mes investigations. En effet, en prenant pour unité de volume de *dix à quinze mètres cubes* d'air, on doit considérer comme impondérable la quantité de matières sodiques solubles. Il n'en est pas de même des composés sodiques et calciques insolubles.

Pour me rendre compte de la quantité de matières suspendues dans l'air libre, *aussi au repos que possible,* j'ai eu recours à la condensation de la vapeur d'eau qui y existe en quantité si variable. Il m'a semblé, en effet, que *lors de cette condensation, l'eau doit entrainer toutes les matières, quelle que soit leur nature, suspendues* DANS LA COUCHE D'AIR EN CONTACT *avec la surface*

[1] *Air and Rain,* by ROBERT ANGUS SMITH. London, Longmans Green, 1872.

Digitized by Google

refroidie au-dessous du point de rosée. J'ai effectué cette condensation sur les parois externes d'un appareil de platine poli, récemment lavé et rougi après. L'appareil dont je me suis servi se composait d'une chaudière cylindrique de platine de 20 centimètres de diamètre et de 30 centimètres de hauteur, surmontée d'un chapiteau.

Le chapiteau, rodé sur la chaudière, y pénétrait de 2 centimètres et était muni d'un long col et d'une large tubulure au centre. La chaudière était remplie aux deux tiers de sulfure de carbone ; sur la tubulure du chapiteau était adapté un bouchon de liège traversé par un tube de verre destiné à amener un courant d'air sec dans le sulfure de carbone, et par un thermomètre donnant le $^{1}/_{20}$ de degré. Le courant d'air était produit à l'aide d'une soufflerie ou trompe à eau, et desséché avant de traverser le sulfure de carbone. Lorsque la pression de l'eau était constante, la soufflerie permettait de régler le courant de manière à provoquer et à maintenir un abaissement suffisant de température pour amener les parois de la chaudière au-dessous du point de rosée et aussi près que possible de 0°, sans toutefois déterminer la congélation de l'eau déposée [1].

Au col du chapiteau était adapté un bouchon de liège traversé par un tube de verre destiné à porter au loin l'air saturé de vapeur de sulfure de carbone.

Pendant son fonctionnement, l'appareil était librement suspendu dans une position légèrement inclinée, afin de favoriser la descente de l'eau. A la partie déclive du fond de la chaudière touchait, par un point, une feuille de platine destinée à conduire l'eau, à mesure de sa condensation, dans un entonnoir de platine contenant un double filtre de papier lavé successivement à l'acide azotique dilué, à l'eau, à l'acide fluorhydrique dilué et de nouveau à l'eau.

Le bec de l'entonnoir de platine traversait une ouverture pratiquée dans

[1] Pendant le cours des expériences, lorsque la pression de l'eau activant la soufflerie a augmenté, l'eau de l'air condensée, au lieu de se déposer à l'état liquide, s'est congelée. La glace produite a été ou parfaitement *transparente* ou *opaque*, mais teintée soit de *noir*, comme le quartz enfumé, soit de *gris jaunâtre*. L'examen microscopique de cette glace, ou de l'eau provenant de la fusion de celle-ci, permettrait de fixer aisément la forme des matières étrangères qui y sont interposées. J'appelle sur ce point l'attention de ceux qui s'occupent de la recherche de la nature dès corpuscules suspendus dans l'air.

Digitized by Google

un plan de verre supportant le corps de l'entonnoir et supporté lui-même par une capsule de platine récemment lavée et rougie, destinée à recevoir l'eau de condensation filtrée.

J'ai déterminé ensuite, par la pesée dans un creuset de platine couvert, la quantité d'eau recueillie.

Pour rechercher la nature et le poids des matières restées sur le filtre, j'ai pris les dispositions suivantes :

Dans une capsule de platine à *bec* de 110 centimètres cubes de capacité, préalablement bien lavée et rougie, on a pesé *cent grammes* d'eau filtrée, qu'on a évaporée ensuite au bain-marie. Lorsque, par suite de l'évaporation, le volume total de l'eau était à environ 1 centimètre cube, le liquide fut versé dans une très petite capsule de platine bien poli, du poids d'environ *un gramme* et dont j'avais déterminé la masse avec une approximation de *deux à trois millièmes de milligramme.* Après l'évaporation au bain-marie du liquide de la très petite capsule de platine, j'ai introduit dans celle-ci les eaux de lavage de la capsule à bec et j'ai évaporé le tout jusqu'à poids constant. J'ai pesé et j'ai déterminé ensuite la nature du résidu.

J'ai recherché, d'autre part, à l'aide de l'azotate d'argent, la présence de chlorure, et à l'aide de chlorure de baryum, la présence de sulfate dans l'eau condensée filtrée.

Les filtres, au travers desquels l'eau condensée a passé, ont été séchés à l'étuve.

Le filtre intérieur a été comparé au filtre extérieur et tous deux ont été examinés au microscope. Après cet examen, le filtre intérieur a été plié et replié sur lui-même et entouré d'un fil fin de platine et carbonisé *en vase de platine clos,* à basse température.

Le charbon a été porté prudemment dans l'enveloppe externe de la flamme de la lampe à gaz pour en faire l'incinération. Pendant l'incinération, on s'assurait, à l'aide de l'analyse prismatique, de la nature du spectre produit.

Après l'incinération, j'ai pesé la cendre et déterminé sa nature en recourant successivement à l'emploi du *chlorure* d'ammonium, du *fluorure* d'ammonium et de l'acide sulfurique purs.

Digitized by Google

Les résultats constatés ont été les suivants :

A. *Air extérieur.* — L'appareil de condensation était librement suspendu au dehors d'une croisée, exposée au sud-ouest, donnant sur le jardin, à 9 mètres au-dessus du sol, qui est de 49 mètres au-dessus du bas de la ville et de 77 mètres au-dessus du niveau de la mer, à 45 centimètres des murs, de la fenêtre et d'une planchette servant de support aux objets à placer au dehors. L'appareil était abrité de tout vent de face, de côté, du soleil et de la pluie à l'aide de rideaux mobiles également éloignés de 45 centimètres. Toutefois l'air ambiant pouvait librement pénétrer par le haut et par le bas, circuler et sortir de cette espèce de réduit.

Une lampe de Bunsen, qu'on pouvait allumer de l'intérieur en ouvrant un des carreaux mobiles de la fenêtre, était placée sur la planchette. Cette lampe était surmontée d'un très large entonnoir en tôle, en communication avec un tuyau en tôle fixé au mur, destiné à porter au dehors les produits de la combustion du gaz de l'éclairage, alimentant la lampe. En ouvrant le carreau mobile devant lequel la lampe se trouvait, et en avançant convenablement le spectroscope, on pouvait à tout instant faire l'analyse prismatique de la flamme, qui contribuait, ainsi que je m'en suis assuré, pour une large part au renouvellement de l'air du réduit.

Un thermomètre *abrité*, identique à celui fixé dans la tubulure du chapiteau de l'appareil et plongeant dans le sulfure de carbone, permettait de connaître la température extérieure.

Toutes les dispositions étant prises pour l'expérimentation, j'ai fait fonctionner *lentement* la trompe pour amener de l'air sec au travers du sulfure de carbone et produire l'abaissement de la température au point de rosée. Eu égard aux dimensions considérables de l'appareil et aux soins que j'ai pris, j'ai pu, dans chaque essai, fixer ce point à 0°,2 près.

1° Vent d'ouest léger :

Température de l'air	18°,5
Point de rosée	12°,6
Poids de l'eau condensée	125 grammes.

Pendant le temps du fonctionnement de la trompe, la température du sulfure de carbone a été comprise entre 0° et 3°, et l'analyse prismatique de la flamme de la lampe de Bunsen a permis de constater un spectre sodique prononcé.

Cinq gouttes ($^1/_5$ de centimètre cube) de solution décime d'azotate d'argent produisent un trouble sensible dans 10 centimètres cubes d'eau filtrée contenue dans un tube de verre bouché, à fond aplati et poli, de 15 millimètres de diamètre et entouré sur toute sa longueur de papier noirci au noir de fumée, condition dans laquelle la moindre opalescence est facile à constater.

Une goutte de solution saturée de chlorure de baryum ne produit aucun trouble dans *dix* centimètres cubes d'eau filtrée. Après l'évaporation du mélange à un demi-centimètre cube environ, le liquide devient manifestement trouble.

L'évaporation, au bain-marie et *à l'air extérieur,* de 100 centimètres cubes d'eau filtrée, laisse une faible tache jaunâtre, transparente, paraissant hygrométrique, dont le poids tombe dans l'incertitude de la pesée, c'est-à-dire 2 à 3 millièmes de milligramme; ce résidu chauffé noircit visiblement; repris par quelques gouttes d'eau pure, il fournit une solution dont une partie, introduite au bout d'une boucle en fil fin de platine récemment rougi, se volatilise en entier en colorant en jaune la flamme de la lampe de Bunsen et donnant à l'analyse prismatique un spectre sodique *intense,* mais très fugitif, sans trace de spectre calcique, même après avoir mouillé la boucle au chlorure d'ammonium dissous.

Le filtre interne, au travers duquel l'eau condensée a passé, présente, après dessiccation, une teinte grisâtre. Au microscope, on aperçoit des points noirs très abondants et des points gris brillants, ainsi qu'un grand nombre de filaments les uns longs et les autres courts.

L'introduction, dans l'enveloppe externe de la flamme de la lampe de Bunsen, du charbon provenant de la carbonisation en vase clos du filtre interne, colore une grande partie de cette flamme en jaune.

Pendant l'incinération du charbon, l'analyse prismatique permet d'apercevoir un spectre sodique et un spectre calcique faible et incomplet, sans trace de raie brune potassique. Le poids de la cendre siliceuse, d'un brun foncé, était de $0^{gr},000,085$.

Digitized by Google

La cendre reprise par une solution saturée de chlorure d'ammonium adhérente à une boucle en fil fin de platine et introduite, après dessiccation lente, dans la flamme de la lampe de Bunsen, fournit un spectre sodique intense et un spectre calcique incomplet, sans trace de la raie brune potassique.

La boucle, enduite de la cendre, est mouillée, à trois reprises, par une solution saturée de *fluorure d'ammonium* entièrement volatil, chauffée chaque fois près du rouge sombre pour volatiliser la silice sablonneuse et la silice des silicates, et portée ensuite dans l'enveloppe externe de la flamme de Bunsen, elle la colore immédiatement en jaune. L'analyse prismatique de cette enveloppe permet d'apercevoir la raie sodique, sans trace de spectre calcique ou potassique.

La boucle en fil de platine, humectée d'acide sulfurique et portée dans la flamme, la colore en jaune, mais l'analyse prismatique de la flamme ne permet pas d'apercevoir la raie brune potassique.

Ainsi l'eau condensée renfermait *une quantité impondérable* de sodium à l'état de chlorure et de sulfate, et du sodium et du calcium à l'état de silicates multiples, parmi lesquels le silicate de potassium fait défaut.

2° Absence totale de vent :

Température de l'air	8°,20
Point de rosée	7°,95
Eau condensée	125 grammes.

Au moment de commencer la condensation de la vapeur d'eau, une pluie fine alternait depuis trois jours avec des brouillards humides, et les rideaux d'abri étaient complètement mouillés. Pendant le temps de la condensation, qui a été long, la température du sulfure de carbone a varié de 0° à 2°,5, et l'analyse prismatique de la flamme brûlant dans l'air n'a pas permis de constater la présence de la raie sodique.

Cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent ne produisent, après trente minutes d'attente, aucun trouble dans 10 centimètres cubes d'eau filtrée. Le mélange réduit, par l'évaporation, au volume d'un demi-centimètre environ, se trouble manifestement par le refroidissement. L'ammoniaque fait disparaître le trouble.

Digitized by Google

Le liquide provenant de l'évaporation de 10 centimètres cubes d'eau filtrée à un demi-centimètre environ est légèrement troublé par une goutte de solution saturée de chlorure de baryum.

Cent centimètres cubes d'eau filtrée laissent, par l'évaporation, une petite tache brune, très visible au microscope et paraissant hygrométrique. Le poids de la matière est dans la limite de l'approximation de la pesée de la capsule ($0^{mgr},003$). La tache noircit visiblement par la chaleur; le résidu est repris par deux gouttes d'eau, et la solution introduite dans la flamme de la lampe de Bunsen la colore très fugitivement en jaune; l'analyse prismatique de la flamme permet de constater *exclusivement* la raie sodique.

Le filtre intérieur par lequel l'eau a passé, séché, avait une teinte grise très prononcée; examiné au microscope, il offrait une multitude de petits points noirs et des filaments, les uns longs et les autres courts. L'incinération du charbon provenant de la carbonisation en vase clos du filtre, a laissé une trace impondérable de cendre manifestement brune. Pendant tout le temps de l'incinération, j'ai aperçu le spectre sodique à l'exclusion de tout autre.

Ainsi, quoique j'aie été impuissant à constater par l'analyse spectrale la présence de la raie sodique dans la flamme de la lampe de Bunsen brûlant dans l'air, qui a fourni l'eau de condensation, j'ai néanmoins constaté que cet air contenait du sodium à l'état de chlorure et de sulfate, puisque l'eau de condensation renfermait une trace impondérable de ces corps.

3° Des conditions atmosphériques favorables s'étant représentées, j'ai contrôlé ces dernières observations. Après *cinq* jours de pluie fine, *sans vent sensible*, et pendant que celle-ci continuait à tomber,

La température de l'air étant	9°,45
Et le point de rosée	9°,15
J'ai récolté par condensation	135 gr. d'eau.

Les rideaux abritant l'appareil étaient mouillés par la pluie au point de laisser découler l'eau. Pendant tout le temps du fonctionnement de l'appareil, la température du sulfure de carbone a été comprise entre 0° et 2°,8. L'analyse spectrale de la lampe de Bunsen brûlant dans l'air extérieur ne m'a pas permis d'apercevoir un seul instant la raie sodique.

Digitized by Google

Cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent dans dix centimètres cubes d'eau filtrée ne produisent aucun trouble appréciable après une attente de vingt minutes. Le mélange évaporé à un demi-centimètre environ se trouble manifestement par le refroidissement, et le trouble disparaît par l'ammoniaque.

Dix centimètres cubes d'eau filtrée sont ramenés par l'évaporation au volume d'un demi-centimètre cube environ. Le liquide est *légèrement* troublé par une goutte de solution saturée de chlorure de baryum.

Cent centimètres cubes d'eau filtrée laissent, par l'évaporation, une petite tache brune luisante, absolument impondérable. Chauffée, la tache noircit; le résidu, repris par deux gouttes d'eau et introduit à l'état de solution dans la flamme de la lampe de Bunsen, colore cette flamme en jaune. L'analyse prismatique de la flamme permet de reconnaître une raie sodique intensément colorée, mais très fugitive.

Le filtre intérieur par lequel l'eau a passé, séché et comparé au second filtre également séché, offrait une teinte grisâtre très prononcée sur la partie qui avait reçu l'eau, et présentait au microscope une multitude de points noirs et des filaments, les uns longs et les autres courts. L'incinération du charbon provenant de la carbonisation du filtre intérieur a laissé une trace impondérable de cendre brune. Pendant l'incinération j'ai pu apercevoir un spectre sodique très faible et très fugitif.

Ainsi, quoiqu'il m'ait été impossible de constater un seul instant la raie sodique dans le spectre de la flamme de la lampe de Bunsen, brûlant dans l'air, néanmoins cet air contenait du sodium à l'état de chlorure et de sulfate, mais en quantité absolument impondérable pour un volume d'air de quinze mètres cubes.

B. *Air du laboratoire.* — Le laboratoire, situé au second étage, se compose de deux pièces dont l'une donnant sur la rue et l'autre sur le jardin. Ces pièces communiquent entre elles par une porte et ont en outre une porte s'ouvrant sur le palier qui leur fournit l'air venant soit du toit, soit de la cour, suivant que la porte du grenier ou de la cour est ouverte ou fermée.

L'appareil de condensation de la vapeur d'eau de l'air était librement

Digitized by Google

suspendu dans la pièce de derrière, au milieu d'une cage vitrée, très spacieuse, ayant à sa partie supérieure une large ouverture, pouvant être diminuée à sa volonté, en communication avec une cheminée d'appel et recevant l'air de la place par une large ouverture à 70 centimètres au-dessus du plancher.

Le spectroscope était placé dans la même chambre à $1^m,50$ de l'appareil à condensation. La place de devant, dont la porte donnant sur le palier était ouverte, fournissait l'air à la pièce de derrière.

1° Le vent soufflait de l'est, l'air venait de la cour, située au sud-ouest, par la cage de l'escalier et le palier. La température de l'air de la cage vitrée était 22°,5; le point de rosée 15°,2. Le poids de l'eau condensée a été 132 grammes. Pendant le temps de la condensation de la vapeur d'eau, la température du sulfure de carbone a été comprise entre 0° et 3°. La flamme de la lampe à gaz brûlant près de l'appareil a été d'un bleu légèrement violacé, et l'analyse prismatique de cette flamme a permis de constater la permanence d'une raie sodique faible à l'exclusion de tout autre spectre. Je ne suis parvenu à réaliser ces conditions que par le soin que j'ai pris de faire épousseter l'avant-veille les deux places et les objets qui y étaient, de faire laver leurs planchers ainsi que les marches de l'escalier peint et de m'abstenir de travailler dans le laboratoire. Sans cette précaution on observe toujours des points brillants dans la flamme.

Cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent produisent un trouble limité dans 10 centimètres cubes d'eau filtrée. Une goutte de solution saturée de chlorure de baryum, ajoutée à 15 centimètres cubes d'eau filtrée, n'y produit aucun trouble; mais le mélange évaporé au volume d'un demi-centimètre cube environ, devient sensiblement opale.

Cent centimètres cubes d'eau filtrée ont laissé, par l'évaporation, une tache d'un jaune foncé, du poids de $0^{gr},000065$. La tache noircit par la chaleur; le résidu est repris par deux gouttes d'eau, et la solution portée dans la flamme la colore intensément, mais fugitivement en jaune. L'analyse prismatique permet de constater la raie sodique et un très faible spectre calcique.

Le filtre interne, au travers duquel l'eau a passé, séché, avait la teinte du papier exposé aux poussières de l'air du laboratoire. Au microscope, on

Digitized by Google

constatait une multitude de points noirs et des points gris brillants, ainsi que des filaments. L'incinération du charbon provenant de la carbonisation en vase clos, du filtre interne, laisse une cendre brunâtre du poids de 0gr,000103. Pendant l'incinération, la partie de la flamme touchée se colore en jaune intense. La cendre, mouillée au chlorure d'ammonium, introduite dans la flamme provoque l'apparition du spectre sodique et calcique, sans trace du spectre potassique. Le résidu, traité à trois reprises au fluorure d'ammonium pour éliminer le silicium, porté dans la flamme fournit encore la raie sodique sans la raie brune potassique. Enfin les traces brunes restées sur la boucle en fil fin de platine, traitées à l'acide sulfurique pur et portées de nouveau dans l'enveloppe externe de la flamme, fournissent encore la raie sodique et un très faible spectre calcique sans trace de la raie brune potassique.

2° *Air de la rue* située dans la direction de l'est à l'ouest, venant par un vent du sud, au travers du toit et du grenier.

L'air amené dans le laboratoire par l'aspiration de quatre cheminées d'appel qui y fonctionnent, imprimait une coloration sensiblement violette à la flamme de la lampe de Bunsen; à l'analyse prismatique, on observait une faible raie sodique mais d'un jaune prononcé, sans trace de spectre calcique; à l'extérieur la température de l'air était de 27°,3; dans la cage vitrée elle était de 23°,8, et le point de rosée de 17°,7; on a récolté 135 grammes d'eau filtrée parfaitement *neutre* aux réactifs colorés.

Cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent produisent un trouble très sensible dans dix centimètres cubes d'eau filtrée.

Vingt centimètres cubes d'eau filtrée sont évaporés au volume d'un demi-centimètre cube environ. Ce liquide, additionné d'une goutte de solution saturée de chlorure de baryum, se trouble faiblement.

Cent centimètres cubes d'eau filtrée, évaporés à siccité, ont laissé une tache brune, brillante, du poids de 0gr,000,057. Ce résidu noircit par la chaleur; repris ensuite par deux gouttes d'eau, la solution portée dans la flamme la colore en jaune. L'analyse spectrale a permis d'apercevoir la raie sodique ainsi qu'un spectre calcique incomplet.

Le filtre interne, au travers duquel l'eau a passé, séché, présentait la

Digitized by Google

teinte du papier exposé à la poussière du laboratoire; au microscope, on y apercevait des points noirs, des points gris, brillants et transparents, des taches ressemblant complètement à l'argile délayée et séchée, enfin des filaments organiques, les uns longs, les autres courts.

Le charbon provenant de la carbonisation en vase clos du filtre, incinéré, laisse une cendre siliceuse, brunâtre, du poids de $0^{gr},000147$. Pendant l'incinération, l'analyse prismatique de la flamme m'a permis d'apercevoir une raie sodique intense. Cette cendre mouillée de chlorure d'ammonium colore fortement la flamme en jaune, fournit indéfiniment le spectre sodique et laisse voir un spectre calcique incomplet, sans trace de spectre potassique.

Ayant, à l'aide du fluorure d'ammonium, éliminé l'acide silicique libre et combiné, puis traité le résidu à l'acide sulfurique, j'ai constaté dans le faible produit la présence du sodium, du calcium, de l'aluminium et du fer; mais j'ai complètement échoué en cherchant à découvrir la trace de potassium.

En admettant que le moyen auquel j'ai eu recours pour m'assurer de la nature et de la quantité de composés sodiques et calciques existant dans l'air, fournisse des résultats exacts, on doit en conclure que l'atmosphère débarrassée par la pluie des poussières qu'elle tient en suspension et maintenue par la pluie à l'état de saturation ou très près de cet état, ne contient pas, pour un volume de 10 à 15 mètres cubes, un poids de composés sodiques solubles susceptible d'être déterminé à l'aide d'une balance accusant avec certitude *trois millièmes de milligramme*. Il y existe cependant du sodium, quoique l'analyse prismatique de la flamme d'une lampe de Bunsen qui brûle dans cet air ne permette pas d'y apercevoir la raie sodique.

Ainsi s'explique la présence du sodium dans les corps hygrométriques non sodés, exposés à l'air à l'abri des poussières qui, en le liquéfiant par l'absorption et partant par la condensation de l'eau de l'air, donnent des signes persistants de la présence du métal sodium. Tels sont incontestablement les chlorures de calcium et de lithium, comme je l'expose dans les notices consacrées à l'étude chimique et spectroscopique de ces corps. L'air de l'extérieur et l'air de l'intérieur, *en repos*, quoique imprimant aux flammes

Digitized by Google

le caractère sodique, ne contiennent pas une quantité pondérable de composés sodiques solubles pour un volume de 10 à 15 mètres cubes. La quantité de matières minérales sodiques et calciques insolubles existant dans ce volume d'air, varie de *six à quinze centièmes de milligramme.*

On a signalé la présence du potassium parmi les matières minérales existant dans l'air libre de certaines régions.

Malgré tous mes efforts, je ne suis pas parvenu à découvrir trace de composé potassique soluble ou insoluble dans *l'air du haut de la ville de Bruxelles.*

Eau de pluie. — J'ai cru utile de contrôler mes recherches sur l'air par l'examen comparé de l'eau de condensation de l'air saturé d'humidité et de l'eau de pluie recueillie *en l'absence de tout vent.* J'ai opéré sur l'eau de pluie tombée tant le jour que la nuit, afin d'être mieux à même de faire la part des cheminées dans la contamination de l'air.

L'eau de pluie a été récoltée au milieu du jardin, à 1 mètre du sol, après que l'air avait été lavé par une pluie fine de plusieurs jours. Dans ces conditions, l'eau de pluie ne devait, semble-t-il, contenir que les traces de matières minérales du nuage donnant naissance à la pluie, auxquelles se seraient joints les composés résultant des émanations des cheminées.

Pour recevoir l'eau de pluie, j'ai disposé sur une planche, à 1 mètre au-dessus de la pelouse, cinq capsules de porcelaine de Bayeux de 40 centimètres de diamètre. D'autre part, j'ai étendu sur une partie de la cour commune avec le jardin, une toile pour abriter le spectroscope, des lampes de Bunsen et tout ce dont j'avais besoin pour filtrer et évaporer l'eau de pluie récoltée. *Toutes les opérations sur l'eau de pluie ont été exécutées à l'air extérieur saturé d'humidité, mais privé de gouttelettes en suspension.* A mesure de sa récolte, l'eau a été reçue dans un vase de platine couvert, et filtrée après pesage. J'ai employé à cet effet des filtres doubles de papier, traités au préalable aux acides azotique et fluorhydrique dilués et purs, et ensuite à l'eau. Les filtres doubles étaient contenus dans un entonnoir de platine, s'engageant dans une ouverture faite dans un plan de verre poli reposant sur la cucurbite d'une cornue de platine dans laquelle l'eau pesée et filtrée a été réunie.

Digitized by Google

Pour la recherche de la nature et de la quantité des matières dissoutes ou restées sur le filtre, j'ai opéré comme je l'ai indiqué ci-dessus pour l'eau de condensation de la vapeur contenue dans l'air.

En même temps que je récoltais l'eau de pluie, j'ai fait fonctionner au second, hors de la croisée, à l'abri de la pluie, l'appareil de condensation, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus de part et d'autre.

Eau de pluie tombée pendant le jour. — Absence de vent; température de l'air, 8°13 ; eau de pluie recueillie de 8 heures du matin à 3 heures de l'après-dîner, 153 grammes.

Pendant toute la journée, la lampe de Bunsen a brûlé à la cour, *sous la toile tendue* et complètement mouillée par la pluie, sans fournir à l'analyse prismatique de la flamme trace de raie sodique. Il en a été de même au second, hors de la croisée, sous l'abri, où fonctionnait l'appareil à condensation de la vapeur de l'air. La température du point de rosée était 7°90. Le poids de l'eau récoltée a été 138 grammes.

L'eau de pluie filtrée était parfaitement incolore et *neutre* aux papiers réactifs. Lancée à l'état globulaire, à l'aide d'un pulvérisateur métallique *à vapeur* d'eau pure, dans la flamme de la lampe de Bunsen, brûlant à la cour sous la toile tendue mouillée, elle *jaunit* manifestement cette flamme. L'analyse prismatique de la flamme jaunie permet de voir la raie sodique, invisible auparavant dans la flamme brûlant dans l'air ou dans la flamme contenant de l'eau *pure* lancée par la pulvérisation métallique, privée intérieurement et extérieurement de toute poussière sodique.

Cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent produisent, dans 20 centimètres cubes d'*eau de pluie* filtrée, un trouble très prononcé. Cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent dans 20 centimètres cubes d'*eau de condensation* filtrée, font naître un trouble-limite. Une goutte de solution saturée de chlorure de baryum ne produit aucun trouble dans 10 centimètres cubes d'eau de pluie filtrée. Le produit de l'évaporation de 20 centimètres cubes d'eau de pluie au volume d'un demi-centimètre cube, est très légèrement troublé par une goutte de solution saturée de chlorure de baryum; tandis que le produit de l'évaporation de 18 centimètres cubes

Digitized by Google

d'*eau de condensation* au volume d'un demi-centimètre cube, n'éprouve aucun trouble par une goutte de solution saturée de chlorure de baryum.

L'eau de pluie filtrée dégage, pendant son évaporation au bain-marie, une odeur de brouillard comme il en a régné lors de la pluie. Cent centimètres cubes de cette eau évaporée à 1 centimètre environ fournissent un liquide trouble, d'un jaune brunâtre. Ce liquide, ramené au bain-marie à siccité, laisse un résidu brun, hygrométrique, du poids de $0^{gr},000191$, tandis que 100 centimètres cubes d'*eau de condensation* n'ont laissé qu'une tache brune du poids de $0^{gr},000027$.

Le résidu laissé par l'évaporation à siccité de l'eau de pluie, chauffé en vase clos au rouge obscur, se noircit fortement en dégageant une odeur de goudron de houille. Le produit repris par quelques gouttes d'eau et introduit dans la flamme de la lampe de Bunsen, la colore en jaune et fournit à l'analyse prismatique un spectre sodique intense, mais fugitif, ainsi qu'un spectre calcique faible et incomplet, *sans trace de la raie brune potassique*.

Le filtre par lequel l'eau de pluie a passé, séché, présente sur toute la surface une légère teinte d'un gris noirâtre et des points noirs en quantité innombrable, ainsi que des filaments. Carbonisé en vase clos et incinéré, il laisse une cendre siliceuse d'un brun rougeâtre, du poids de $0^{gr},000225$ ramené à 100 centimètres cubes d'eau filtrée.

Pendant l'incinération, j'ai constaté la raie sodique sans trace de spectre calcique ou potassique. Mouillée au chlorure d'ammonium, la cendre a fourni indéfiniment le spectre sodique et un spectre calcique très faible. Après l'élimination, à l'aide du fluorure d'ammonium, de l'acide silicique libre et combiné, et le traitement subséquent à l'acide sulfurique, j'ai reconnu encore le spectre sodique et un très faible spectre calcique, mais sans trace de raie brune potassique.

Le filtre interne, par lequel a passé l'*eau de condensation* de la vapeur existant dans l'air, séché, carbonisé et incinéré, a laissé $0^{gr},000042$ de cendre brune, siliceuse, contenant du sodium et de faibles traces de calcium, mais dans laquelle je ne suis pas parvenu, à l'aide de l'analyse spectrale, à constater la présence du potassium.

Digitized by Google

Eau de pluie tombée pendant la nuit. — La pluie fine a continué à tomber pendant toute la nuit et en l'absence du vent. Les résultats des essais ont été les mêmes, à l'intensité près des faits observés. Ainsi, il a fallu réduire au $^1/_{100}$ de son volume l'eau filtrée pour constater, à l'azotate d'argent, la présence du chlore, et aux $^2/_{100}$ de son volume pour découvrir, à l'aide du chlorure de baryum, l'existence de l'acide sulfurique.

Le résidu de l'évaporation de 100 centimètres cubes d'eau filtrée était brun et pesait $0^{gr},000115$, formé essentiellement de matières goudronneuses avec des traces de composés sodiques et calciques complètement volatils, mais sans trace de composés potassiques.

Le filtre par lequel l'eau tombée pendant la nuit a passé, était incomparablement moins déteinté que celui qui a servi à la filtration de l'eau tombée pendant la journée, et le poids de la cendre brune laissée par son incinération ne s'est élevé, par 100 centimètres cubes d'eau filtrée, qu'à $0^{gr},000098$, c'est-à-dire à moins de la moitié du poids des cendres du filtre par lequel a passé, à volume égal, l'eau de pluie recueillie le jour, soit $0^{gr},000225$.

Ce dernier fait tend à prouver qu'en *l'absence de tout vent*, ce sont les cheminées qui interviennent, pour une grande part, dans la contamination de l'air par les substances minérales qu'on y rencontre autour des agglomérations d'habitations, et que le reste peut être attribué au nuage qui fournit la pluie. Mais avant de tirer une conclusion générale, il importe de répéter un grand nombre de fois ces essais, ce qui ne peut guère s'exécuter que dans un établissement organisé pour des recherches météorologiques.

J'ai constaté, du reste, à plusieurs reprises que la pluie entraîne si bien avec elle les matières solubles et insolubles en suspension dans l'air, qu'après de fortes pluies, *les dernières ondées* fournissent de l'eau tellement privée de chlorure et de sulfate, qu'il faut la réduire, par l'évaporation, aux deux centièmes de son volume primitif pour pouvoir y constater, à l'azotate d'argent et au chlorure de baryum, la présence du chlore et de l'acide sulfurique. Pendant l'été de 1881, j'ai reconnu non seulement l'absence du chlore et de l'acide sulfurique dans l'eau tombée à la fin d'une forte pluie d'orage, mais j'ai constaté, après la cessation de la pluie, que l'air extérieur est resté, pendant plusieurs heures de la journée, d'une pureté telle qu'il

Digitized by Google

était absolument impossible de découvrir trace de raie sodique dans le spectre de la flamme d'une lampe de Bunsen qui y brûlait.

A de rares exceptions près, la houille et le coke servent, à Bruxelles, de combustible pour alimenter les foyers; j'attribue à cet emploi l'absence du potassium dont la présence a été constatée dans les poussières atmosphériques d'autres contrées.

Je crois à peine nécessaire de faire remarquer que les résultats indiqués ci-dessus sont strictement adéquats aux conditions atmosphériques existant au moment même de mes observations. En effet, une longue expérience m'a permis de constater l'extrême variabilité de la nature des poussières de l'air d'après les vents régnants. Je ne puis pas affirmer avoir trouvé une seule fois l'air du haut de la ville identique à lui-même au point de vue des poussières. C'est après une pluie fine et sans vent, et pendant qu'elle continue à tomber, que l'atmosphère semble le plus dépouillée de poussières minérales. Dans ce cas, les poussières en suspension sont toujours teintées de noir par du charbon de fumée.

J'ai constaté avec certitude, par des observations de plus d'un tiers de siècle, que les poussières amenées par l'air en l'absence ou en présence de la pluie offrent, à l'intensité de la teinte près, une coloration en rapport constant avec la direction du vent qui les apporte.

L'air qui a passé sur la ville du nord ou du nord-ouest vers le sud ou le sud-ouest pour arriver au boulevard près duquel j'habite, amène toujours avec lui une poussière fine de silicates plus intensément teintée de noir par du charbon que celle qu'entraîne avec elle la pluie fine qui tombe en l'absence de tout vent. L'air qui arrive par un vent du sud ou du sud-est, avec ou sans pluie, apporte une poussière plus ou moins jaune, limoneuse.

Enfin, l'air qui vient par un vent d'est, avec ou sans pluie, amène une poussière grise, sablonneuse et très faiblement argileuse.

A mesure que, du côté de l'est, du sud et du sud-ouest, des constructions se sont élevées dans mes environs qui primitivement étaient complètement découverts, les propriétés physiques des poussières déposées ont singulièrement changé, sans toutefois qu'il ait été porté atteinte aux caractères spécifiques de chacune d'elles. Les faits que je signale ici doivent se présenter

Digitized by Google

dans toutes les contrées. Le jour où des recherches exactes seront instituées partout, point de doute qu'on reconnaîtra qu'il en est des poussières de l'air comme de l'eau qui traverse les terrains en leur empruntant les matières solubles qu'ils renferment, quelle que soit d'ailleurs la nature ou l'origine de ces matières.

La nature des poussières sera en rapport avec la composition du sol balayé par le vent et les émanations lancées dans l'atmosphère par les usines et les cheminées.

CHAPITRE III.

Recherches chimiques sur le chlorure, le chlorate, le perchlorate et le chloro-platinate de potassium [1].

INTRODUCTION.

D'après l'expérience acquise jusqu'à ce jour, le poids moléculaire du chlorure de potassium n'est pas conforme à l'hypothèse de Prout. Ce fait dépend-il de ce que le poids atomique du potassium n'est pas en rapport simple avec le métal-argent qui sert à la mesure de ce rapport, ou bien est-il dû aux impuretés accidentelles que peut renfermer le chlorure soumis à l'expérience, ou bien enfin à ce que le potassium n'est pas un corps élémentaire? Tel est le problème que j'ai essayé de résoudre en reprenant l'étude du chlorure de potassium qui a déjà été de ma part l'objet de longues investigations.

Dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, j'ai dit : « Je dois donc avouer que j'ai été impuissant pour préparer, à l'aide » du chlorate de potassium, un chlorure que je puisse considérer comme

[1] Cette étude a été commencée au mois de décembre 1878 et terminée en 1882.

Digitized by Google

» absolument pur. » En effet, après avoir éliminé successivement les matières étrangères contenues dans le chlorate de potassium le mieux purifié, j'ai constaté, dans le chlorure qui en provient, l'existence du silicium à l'état de silice et de silicates alcalins, parmi lesquels du silicate de sodium en quantité variable suivant les conditions de la production du chlorure. La somme du poids de la silice et des silicates alcalins s'élève à $^1/_{20000}$. En transformant ce chlorure en chloro-platinate de potassium, je suis parvenu à diminuer de moitié le poids du résidu laissé par la volatilisation du chlorure de potassium. En ce qui concerne la silice et le silicate alcalin, la limite minima est donc $^1/_{40000}$. Il m'a été impossible de me renseigner exactement sur la quantité de sodium existant dans le chlorure, et même sur l'état dans lequel la totalité de ce métal s'y trouve. Je crois toutefois que, le plus souvent, cette totalité existe à l'état de silicate. Je dirai plus loin le motif de cette opinion. D'après mon expérience, je puis affirmer qu'il n'y est pas toujours à l'état de chlorure sodique. En effet, à l'aide d'un sel d'argent, il est possible et même facile de s'assurer de la présence de $^1/_{10000}$ de chlorure dans une solution de chlorate ou de perchlorate de potassium à l'eau *pure*. Or, une solution de ces sels dans l'eau absolument pure, qui, à l'analyse spectrale, donne des signes persistants et intenses de la présence du sodium, conserve sa limpidité absolue, et, exposée à la lumière, *à l'abri des poussières de l'air,* reste indéfiniment incolore, après avoir reçu une quantité convenable d'azotate ou de sulfate d'argent, phénomène qu'il est impossible de réaliser avec une solution de chlorate ou de perchlorate contenant $^1/_{10000}$ de ces sels. M. Bunsen, du reste, a démontré que l'analyse spectrale décèle une quantité de chlorure de sodium 300 000 fois plus petite que par l'emploi des sels d'argent. L'impuissance des chimistes à se procurer, par la voie de la cristallisation ou autrement, des sels potassiques, lesquels, volatilisés dans une flamme incolore ou dans l'étincelle électrique, ne fournissent pas la raie sodique, a porté M. Lockyer à croire au dédoublement du potassium en sodium et en un autre métal. Je n'insiste pas sur cette hypothèse : les travaux que j'expose plus loin ont pour but de rechercher le fondement qu'elle peut avoir en fait, tant pour le potassium que pour d'autres corps, tels que le lithium, le calcium, le strontium, le baryum, le thallium, l'argent, le mercure, le platine, l'iridium, etc. En

Digitized by Google

admettant la possibilité de se procurer du chlorure de potassium privé absolument de sodium, de silice, de silicate alcalin et de toute autre matière étrangère connue, quelle garantie a-t-on que le métal qui y est contenu constitue en réalité un corps simple?

En se plaçant au point de vue de l'expérience actuellement acquise, il existe, pour considérer le métal de ce chlorure comme un être simple, autant de raisons qu'on en a pour regarder l'hydrogène contenu dans l'acide chlorhydrique comme un corps indécomposable. En effet, en faisant intervenir des forces chimiques, autrement puissantes que les forces physiques, les déplacements et les remplacements de la masse du métal engagée dans les combinaisons, s'effectuent toujours de manière à reproduire une matière identique à elle-même, comme c'est le cas pour l'hydrogène, ni plus, ni moins. Le chlorure du chlorate, le chlorure du chloro-platinate de potassium, formés dans des conditions très différentes, sont identiques dans toutes leurs propriétés. Par mes travaux antérieurs, j'ai reconnu que la masse potassium, qu'elle provienne du chlorate, du chloro-platinate, de l'azotate, du tartrate potassique, est la même; elle est représentée par une *constante*. Je crois avoir été en droit de conclure, avec la généralité des chimistes, que le potassium est un corps indécomposable au même titre que l'hydrogène.

Voulant toutefois soumettre cette conclusion à une épreuve nouvelle, j'ai eu recours à une seconde voie d'investigation. Avant de la faire connaître, je me hâte de le dire, je n'ai eu aucune confiance dans la réussite de mon entreprise. Le désir de m'éclairer et de découvrir la vérité, quelle qu'elle soit, a seul déterminé mes recherches.

Si le métal contenu dans le chlorure de potassium, provenant de la dissociation du chlorate *pur* par la chaleur, est un être simple, indécomposable, il faut, me semble-t-il, qu'en soumettant le chlorate à la chaleur, de manière à le ramener partiellement à l'état d'oxygène, de chlorure et de perchlorate de potassium, que le rapport du chlore au métal soit invariablement le même dans le chlorure et dans le perchlorate formé simultanément avec un même chlorure. Le chlorure qui a pris naissance lors de la formation du perchlorate, et le chlorure provenant de la décomposition subséquente de ce perchlorate, doivent être identiques sous tous les rapports.

Digitized by Google

Si, au contraire, le métal du chlorate de potassium pur est une substance complexe, susceptible d'être dédoublée, le chlorure et le perchlorate formés lors de la dissociation d'un chlorate de potassium pur, par la chaleur, doivent renfermer le chlore et le métal dans des rapports différents, et le chlorure produit en même temps que le perchlorate, ainsi que le chlorure résultant de la décomposition de ce perchlorate, doivent être différents.

En effet, l'action chimique se passe ainsi lorsqu'on soumet à une chaleur convenable du chlorate de potassium contenant du chlorate de sodium. En chauffant dans un vase de platine du chlorate de potassium mélangé de 5 °/₀ de son poids de chlorate de sodium, on trouve, après la dissociation complète des chlorates, la presque totalité du sodium qui y est contenu, à l'état de chlorure sodique, dans le chlorure potassique formé. Le vase en platine est légèrement attaqué, et il se produit sensiblement du chloroplatinate de sodium, comme c'est toujours le cas lorsqu'on décompose le chlorate de sodium dans le platine.

Le perchlorate formé en même temps que les chlorures de potassium et de sodium ne renferme que du potassium. Par un traitement convenable à l'alcool, suivi de cristallisations successives, suffisamment répétées, dans des vases de platine à l'abri de l'air sodique, on peut opérer le partage de manière à obtenir un chlorure de potassium contenant, d'une part, la totalité du sodium, et, d'autre part, du perchlorate de potassium qui se conduit à l'analyse spectrale comme tout perchlorate potassique qui a eu longtemps le contact de l'air, ou bien le contact d'un composé sodique plus soluble que lui, et dont ensuite on a éliminé, par la voie de cristallisations successives et des lavages à l'alcool, le sel sodique qui y était mélangé.

Si donc le métal du chlorate de potassium, tel qu'enfin je suis parvenu à le préparer à l'état de pureté, est une substance complexe, il est conforme aux analogies d'admettre que, par l'action d'une chaleur ménagée, le partage doit se faire de manière à concentrer dans le chlorure, ou dans le perchlorate, la totalité sinon une partie de l'un des composants du métal du chlorate.

La *constante* chimique des corps étant différente, l'expérience le démontre, le rapport du chlore au métal dans le chlorure et dans le perchlorate doit, par conséquent, être différent et renfermé dans les limites de la masse de

Digitized by Google

ces constantes. Dans le but de m'assurer ce qui se passe dans la réalité des faits, j'ai institué une longue série d'investigations.

J'ai recherché d'abord s'il est possible de se procurer du chlorate de potassium ne donnant pas la raie sodique et susceptible de fournir du chlorure complètement dépouillé de matières étrangères à sa composition normale, fixes ou volatiles. Ayant eu la chance de réussir dans cette délicate entreprise pour le chlorate renfermant la silice et le sodium à l'état de silicate de potassium et de sodium, j'ai soumis le chlorate purifié à l'action de la chaleur, de manière à produire en même temps que du chlorure ;

1° La plus grande quantité possible de perchlorate;

2° Une quantité de perchlorate suffisante seulement pour la production du chlorure nécessaire à la détermination de son rapport proportionnel avec l'argent pur.

Je vais faire connaître le plus brièvement possible toutes ces recherches et les résultats auxquels je suis parvenu.

Des moyens employés pour éliminer les matières étrangères fixes contenues habituellement dans le chlorate de potassium des fabriques de produits chimiques.

Il résulte de faits suffisamment connus que le chlorate de potassium purifié par la voie de cristallisations successives, au point de ne plus troubler une solution décime d'argent, peut contenir encore du fer, du manganèse, du cuivre, de l'argent, et retient toujours du sodium, de l'aluminium, du calcium et du silicium.

Le cuivre et l'argent sont éliminés directement par l'addition d'une quantité suffisante de sulfure ou de sulfhydrate de potassium, à une solution de chlorate saturée à 100°. La presque totalité du fer et du manganèse reste en dissolution. Le fer et le manganèse ne sont précipités qu'en tant qu'on maintienne la solution saline en une légère ébullition pendant quinze à trente minutes; mais dans cette condition, le liquide, qui est alcalin, attaque sensiblement le vase en porcelaine ou en verre dans lequel l'opération s'effectue.

Digitized by Google

Le sel qui cristallise après le *refroidissement brusque* du liquide filtré dont on a éliminé ainsi le cuivre et l'argent, est souvent légèrement teinté de rose. Cette coloration disparaît par un lavage méthodique du sel à l'aide d'une solution *au millième* de sulfhydrate de potassium refroidie vers zéro degré, suivi d'un lavage à l'eau pure glacée. En se décolorant, le chlorate perd la majeure partie du fer et du manganèse ainsi que de l'aluminium, du sodium, du calcium et du silicium.

En dissolvant, jusqu'à saturation, dans l'eau pure et bouillante, le sel ainsi obtenu et en additionnant la solution d'une quantité de sulfhydrate de potassium pur, suffisante pour lui donner une réaction alcaline prononcée, on obtient, par le refroidissement brusque du liquide *filtré*, un chlorate, en poussière cristalline toujours blanche, auquel un lavage à la solution au millième de sulfhydrate de potassium, suivi d'un second lavage à l'eau pure glacée, enlève le restant du fer, du manganèse, de l'aluminium, mais pas tout le silicium, tout le sodium et le calcium qui y sont contenus. En répétant un grand nombre de fois les redissolutions, les cristallisations et les lavages dans les mêmes conditions, c'est-à-dire dans des vases en porcelaine ou en verre, et *en présence de l'air sodifère et silicifère*, on parvient certainement à diminuer sensiblement le contenu du chlorate en sodium, en calcium et en silicium; mais il m'a paru qu'au quatrième traitement on arrive à une limite à laquelle les vases en porcelaine ou en verre et l'air ambiant apportent autant de silice, de sodium et de calcium que le traitement permet d'éliminer.

Après le troisième traitement on est donc obligé d'opérer dans des vases de platine de forme appropriée et *à l'air confiné et purifié*. En agissant ainsi, je suis parvenu, par *six* cristallisations successives, dont les *trois* dernières dans le platine, à me procurer du chlorate privé complètement de silicium, de toute matière fixe quelconque et de sodium, si ce métal existe exclusivement dans le chlorate brut à l'état de silicate sodique, comme cela a été le cas pour les échantillons de chlorate, sauf *un*, qui m'ont été fournis. Si, au contraire, le sodium y est renfermé en partie sous forme de chlorate sodique, on arrive à une limite qu'on ne saurait guère *pratiquement* dépasser dès qu'on a réalisé la séparation de la silice par l'intervention du sulfure, du

Digitized by Google

sulfhydrate ou de l'hydroxyde de potassium, en combinant même les cristallisations *avec des lavages méthodiques à l'alcool*, dans l'air confiné.

J'ai essayé d'appliquer ce moyen pour enlever au chlorure, au sulfate et à l'azotate de potassium, le silicium, l'aluminium et le calcium que l'on rencontre presque toujours dans ces composés purifiés par des cristallisations successives.

A l'aide de soins convenables, l'élimination de ces corps est très facile, surtout pour le sulfate de potassium. Après cinq cristallisations successives, dont les trois dernières opérées dans le platine et au sein de l'air confiné et purifié, j'ai réussi à obtenir un sulfate et un azotate qui, chauffés avec une quantité suffisante de sel ammoniac pur, produisent un chlorure se volatilisant sans laisser trace de résidu fixe. Cette étude m'a permis de constater qu'après l'élimination du silicium, de l'aluminium et du calcium, le sulfate, l'azotate et le chlorure retenaient encore du sodium, le chlorure et l'azotate en quantité *très minime*, le sulfate au contraire en quantité relativement notable, preuve évidente que dans les composés soumis à la purification, le métal sodium existait respectivement à l'état de sulfate, d'azotate et de chlorure. Je le répète, l'emploi du sulfure, du sulfhydrate et de l'hydroxyde pour entraîner le sodium n'est efficace que si ce métal se trouve dans le sel potassique exclusivement à l'état de silicate [1].

J'expose plus loin avec les détails nécessaires la préparation des chlorate, perchlorate et chlorure de potassium employés à mes recherches.

[1] Je me suis assuré que le principe qui consiste à éliminer, à l'aide de cristallisations effectuées dans l'eau rendue alcaline par l'hydroxyde ou le sulfhydrate de potassium, la silice et l'alumine que renferme toujours le chlorate de potassium cristallisé dans l'eau pure, est applicable à l'élimination de la silice et de l'alumine que contient le sulfate sodique cristallisé dans l'eau pure. En transformant, à l'aide du chlorure d'ammonium, le sulfate purifié ainsi, j'ai pu me procurer du chlorate de sodium susceptible de se volatiliser sans laisser trace de résidu, fait que je n'étais pas parvenu à réaliser jusqu'ici.

Désormais on pourra reprendre le rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure sodique, et s'assurer, sans hypothèse, si le poids atomique de l'argent et le poids moléculaire du chlorure sodique sont multiples par un nombre entier de l'hydrogène.

(Janvier 1879.)

Digitized by Google

Des moyens employés pour m'assurer de la présence ou de l'absence de matières fixes dans le chlorate, le perchlorate et le chlorure de potassium.

Pour constater la présence ou l'absence du fer, du manganèse, du cuivre, de l'aluminium et du silicium dans le chlorate, le perchlorate et le chlorure de potassium, je me suis fondé sur les faits suivants :

Le chlorate et le perchlorate, dissociés par la chaleur dans un vase de platine pur et poli, se transforment nettement en chlorure et en oxygène sans mettre trace de chlore en liberté. Le dégagement de chlore constaté par tous les chimistes lors de la décomposition de ces sels par la chaleur, est dû à l'existence de matières étrangères dans les composés soumis à la dissociation et notamment à la présence du fer, du manganèse, du cuivre, de l'aluminium ou du silicium [1].

Le chlorure de potassium qui a été fondu est *incolore,* ou plus ou moins coloré en *rouge,* en *rose* ou en *vert,* suivant qu'il est privé ou contient du fer, du manganèse ou du cuivre.

Chauffé au delà de son point de fusion, le chlorure de potassium incolore se volatise sans laisser trace de résidu lorsqu'il ne contient ni aluminium, ni silicium, ni calcium.

Si la quantité d'aluminium et de silicium à l'état de silicate d'alumine ou de silice dépasse $^1/_{5000}$ environ du poids de la masse, le chlorure de potassium fondu présente immédiatement des points brillants flottant dans le liquide et constitués par de l'alumine ou de la silice ou du silicate d'aluminium. Dans le cas contraire, on ne voit apparaître des points brillants, par suite de la volatilisation du chlorure par la chaleur, que lorsque le contenu en alumine ou en silice ou en silicate d'alumine est ramené au $^1/_{5000}$ environ du poids du chlorure.

[1] Dans une notice jointe au chapitre sur la préparation du chlorate, du perchlorate et du chlorure de potassium purs, j'expose le moyen auquel j'ai eu recours pour m'assurer de l'absence du chlore dans l'oxygène produit lors de la décomposition par la chaleur du chlorate et du perchlorate de potassium absolument purs.

Digitized by Google

Si le silicium existe dans le chlorure à l'état de silicate de potassium ou de sodium, comme c'est le plus souvent le cas, le chlorure fondu se présente sous la forme d'un liquide homogène, lors même que la proportion de silicate s'élève à un taux considérable de la masse.

Le platine mat, et même ce métal poli, sont mouillés par le chlorure de potassium fondu. Aussi, en volatilisant du chlorure contenant soit du silicate de potassium, soit du silicate de sodium, observe-t-on qu'à mesure que l'évaporation s'effectue, le chlorure laisse des *cercles concentriques* de silicate fixe qui vont en augmentant d'épaisseur.

La constance de l'apparition des cercles concentriques est telle qu'on peut se fonder sur elle, ainsi que je l'ai fait lors de la préparation du chlorate pur, pour juger de l'état d'avancement de la purification au point de vue de l'élimination de la silice combinée au potassium et au sodium.

En appliquant ce mode de recherche au chlorure obtenu à l'aide du chlorate de potassium, dit pur, des fabriques de produits chimiques, j'ai été à même de me convaincre de la quantité notable de matières fixes laissées par son évaporation.

Pour constater les faits qui précèdent, j'ai volatilisé le chlorure de potassium sur un couvercle concave d'un grand creuset de platine pur, à larges bords plans, pouvant contenir de 10 à 12 grammes de chlorate fondu. Ce couvercle reposait par ses bords sur un anneau formé d'un très gros fil de platine, supporté par *trois* blocs en terre réfractaire. Ces blocs étaient disposés de manière à constituer un canal fermé d'un côté, ouvert de l'autre, et destiné à contenir un chalumeau à gaz de l'éclairage, alimenté par une pompe à air, et à servir au dégagement des produits de la combustion. Le chalumeau aércarbohydrique était placé de manière à produire au *centre* du couvercle de platine la température la plus élevée possible, tout en empêchant ses bords plans de rougir au point de se souder à l'anneau qui le supportait. Les bords plans couvrant complètement l'anneau, les produits de la combustion ne pouvaient s'échapper autour du vase-couvercle et étaient forcés de sortir par le canal de dégagement.

En faisant fonctionner l'appareil dans une salle close, dont l'air est purifié par un repos de douze heures au moins, on peut procéder à la volatilisation

Digitized by Google

du chlorure sans avoir besoin de placer, à une certaine distance au-dessus du couvercle, un plan de platine pour empêcher de tomber dans le chlorure les poussières qu'on sait exister toujours dans l'air en mouvement. J'ajouterai que j'ai agi de la sorte lors des nombreux *essais qualitatifs* que j'ai exécutés tant pour rechercher l'état de pureté du chlorure obtenu par la dissociation du chlorate dit pur fourni par le commerce de produits chimiques, que pour m'assurer de l'état d'avancement de la purification des chlorures provenant de la décomposition de ces chlorates de potassium.

Lorsqu'il s'est agi d'*essais quantitatifs*, j'ai eu soin de suspendre, à l'aide de fils de platine, une large feuille de ce métal dans une position très inclinée et assez près de la surface du vase-couvercle pour diminuer le courant qui existe, quoi qu'on fasse, et empêcher la chute directe des corps en suspension dans l'air en mouvement.

En réglant le chalumeau, tant pour la quantité de gaz brûlé que pour sa position, on peut, à l'aide du moyen que je viens d'indiquer, volatiliser à l'air libre, dans l'espace de *dix-huit à vingt minutes*, 10 grammes environ de chlorure de potassium. Il faut, au contraire, au moins *trente* minutes en plaçant au-dessus et près de la surface du vase-couvercle évaporatoire une large plaque de platine fortement inclinée. Dans ce cas, une certaine partie du chlorure volatilisé se dépose sur la plaque et se trouve à l'état cristallin, transparent et incolore, au centre de la feuille, et à l'état de givre blanc de neige tout autour. On pourrait utiliser ce dépôt pour se procurer du chlorure privé de tout corps fixe, s'il n'était pas plus facile et plus sûr de l'obtenir complètement dépouillé de matières fixes et de sodium apporté par l'air, à l'aide du moyen indiqué ci-dessus et que j'ai exécuté à deux reprises sur une grande échelle, ainsi que je l'expose plus loin.

J'ai comparé le résultat auquel conduit ce moyen expéditif à celui, beaucoup plus long, que j'ai fait connaître dans mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, et qui consiste à pratiquer la volatilisation dans une nacelle de platine placée dans un tube de porcelaine garni intérieurement de platine et chauffé au blanc, en faisant traverser un courant *d'azote sec*.

En appliquant à une partie de chlorure du nitre purifié avec les plus

Digitized by Google

grands soins, dans lequel j'avais trouvé par ce dernier moyen $0^{gr},000\,56$ de résidu fixe, j'ai obtenu $0^{gr},000\,60$ par le nouveau moyen, pour $10^{gr},000$ mis en expérience. Les deux méthodes se valent évidemment.

Pour terminer cet exposé, je dois ajouter que l'expérience m'a prouvé qu'on ne peut pas compter sur la conservation du poids du vase de platine chauffé *au dard aércarbohydrique.* J'ai trouvé ce poids tantôt très légèrement augmenté, mais le plus souvent sensiblement diminué. Lorsqu'on veut arriver à des résultats aussi exacts que possible, il est nécessaire de peser le vase en platine sur lequel on a évaporé le chlorure, et de le peser une seconde fois, après avoir laissé séjourner *à froid, dans la cavité,* de l'acide fluorhydrique mêlé de son volume d'eau, puis de l'acide chlorhydrique dilué au vingtième, enfin après l'avoir lavé suffisamment à l'eau pure, conditions dans lesquelles le platine pur ne change pas de poids.

En prenant pour poids du résidu la différence entre la première et la seconde pesée du vase de platine rougi à blanc et refroidi ensuite, sous une cloche, dans le même air sec, on est certain d'arriver à un résultat aussi exact que le permet une recherche de cette nature.

Pour la recherche du *calcium* dans le chlorate et le chlorure de potassium, j'ai eu recours à l'analyse prismatique. Mais la quantité de ce métal étant rarement suffisante pour être décelée dans ces composés introduits dans la flamme, j'ai, après avoir transformé le chlorate en chlorure, volatilisé celui-ci de manière à n'en laisser que quelques centièmes. J'ai porté ensuite le résidu dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, ou dans le dard du chalumeau oxhydrique, pour rechercher les raies caractéristiques du spectre de flamme du calcium. En agissant ainsi, on se convainct facilement de la difficulté extrême de se procurer du chlorate et du chlorure de potassium dépouillés entièrement de calcium.

Préparation du chlorate de potassium.

Après avoir constaté qu'à l'aide d'une solution très étendue de sulfhydrate ou d'hydroxyde de potassium, on parvient à enlever, au chlorate de potassium, le silicium et le sodium existant dans ce sel *à l'état de silicate,* j'ai pro-

Digitized by Google

cédé, à deux reprises différentes, à la purification du chlorate du commerce de produits chimiques, que j'avais soumis à un essai préalable, en opérant une première fois sur *trois kilogrammes* et la seconde fois sur *deux kilogrammes* de ce sel d'origines différentes. Le chlorate à purifier contenait du fer, du manganèse, du cuivre, beaucoup de sodium, de la silice, de l'aluminium, du magnésium, du calcium, des chlorures et des sulfates, enfin des poussières organiques. J'ai opéré la purification ainsi qu'il suit :

A une quantité d'eau suffisante portée et maintenue vers 100° dans deux grandes capsules de porcelaine, on a ajouté, jusqu'à saturation, le chlorate pulvérisé, et l'on a filtré la solution pour éliminer les poussières en suspension. Le liquide filtré, porté de nouveau vers 100°, a reçu une solution étendue de sulfhydrate de potassium [1] en léger excès et a été filtré immédiatement

[1] La préparation de l'hydroxyde et du sulfhydrate de potassium dissous et privé autant que possible de sodium, est une opération fort délicate. J'ai obtenu les composés employés dans mes recherches à l'aide de l'oxyde de potassium produit, par le procédé de Wöhler, c'est-à-dire en chauffant, dans un grand creuset de cuivre provenant de l'électrolyse du sulfate pur, un mélange de nitre et de cuivre en excès, purs et divisés. Le nitre provenait de l'azotate purifié pour les poudreries. Je l'avais fait cristalliser *trois* fois dans une solution au $^1/_{1000}$ de sulfhydrate de potassium, *sept* fois dans une solution au $^1/_{1000}$ d'hydroxyde de potassium, *en opérant dans l'air confiné purifié*, et dans une grande cornue de platine; enfin, *deux* fois dans de l'eau pure. L'azotate, qui avait cristallisé trois fois dans le sulfhydrate transformé en chlorure, se volatilisait *complètement;* mais, introduit dans la flamme, il donnait, à l'analyse prismatique de celle-ci, la raie sodique d'une intensité relativement prononcée. Il contenait donc encore du sodium, sans doute à l'état d'azotate. Après l'avoir fait cristalliser encore *quatre* fois dans l'eau rendue alcaline par l'hydroxyde de potassium, et *deux* fois dans l'eau pure, il colorait la flamme en bleu légèrement violacé, et fournissait jusqu'à sa volatilisation complète, qui s'effectue avec une rapidité extrême, la raie sodique *très faiblement* colorée en jaune. Je dois donc avouer qu'en opérant sur du nitre déjà purifié, j'ai été impuissant pour préparer, par la voie de cristallisations successives dans une eau alcaline et dans l'eau pure, un azotate de potassium privé *absolument* de sodium. Mais, à en juger par la faible intensité colorante de la raie sodique, la quantité de sodium retenu par le nitre ne dépasse pas celle qu'on trouve souvent dans l'air SEC, au repos depuis dix-huit heures, d'une très grande salle.

La solution d'hydroxyde de potassium provenant de la reprise par l'eau de l'oxyde potassique résultant de l'action du cuivre sur le nitre, contient toujours du cuivre. La séparation du cuivre de la solution d'hydroxyde a été opérée à l'aide de l'acide sulfhydrique employé en quantité convenable. La transformation de l'hydroxyde privé de cuivre en sulfhydrate, la conservation de l'hydroxyde ainsi que du sulfhydrate dissous, ont eu lieu dans des vases de platine fermés, pour soustraire ces composés au contact de l'air.

Digitized by Google

après. Par un refroidissement brusque, la solution a déposé un sel en lamelles fines, colorées en *rose*. Le liquide surnageant, qui était coloré, a été écarté complètement. Le sel a été introduit dans un grand entonnoir à bords rodés, muni d'un tampon de toile purifiée, et couvert d'un plan de verre dépoli et douci, percé d'un trou. L'entonnoir était adapté sur un grand flacon à deux tubulures, en communication avec une trompe à eau. Après avoir essoré le sel dans de l'air purifié, on l'a arrosé d'eau glacée, contenant un millième environ de sulfhydrate de potassium, en faisant fonctionner la trompe jusqu'à la décoloration complète du chlorate. La solution de sulfhydrate a été remplacée ensuite par de l'eau glacée pure, pour enlever autant que possible l'alcali et les sels étrangers.

Les lamelles salines parfaitement incolores ont été finement pulvérisées dans un mortier de Wegwood, et la poudre a été reportée dans le grand entonnoir et lavée à nouveau à l'eau pure glacée.

Le chlorate ainsi traité avait une réaction sodique très prononcée. On en a saturé de l'eau portée à 100°. La solution, n'étant pas limpide, a été filtrée, et au liquide chauffé pour redissoudre tout le chlorate cristallisé par le refroidissement, on a ajouté une solution de sulfhydrate en quantité suffisante pour lui donner une *réaction alcaline*. Le liquide ne s'est point troublé ni coloré, et le chlorate qu'il a déposé par le refroidissement brusque était en lamelles fines et *incolores*.

Le sel a été essoré et lavé à la trompe, d'abord à l'eau glacée contenant un millième de sulfhydrate de potassium, et ensuite à l'eau pure glacée. Il a imprimé à la flamme le caractère sodique, mais d'une manière infiniment moins prononcée que le chlorate dont il est provenu.

Dissous dans l'eau, il n'a plus troublé une solution de chlorure de baryum, mais très sensiblement l'azotate d'argent.

J'ai répété dans la porcelaine, une troisième fois, le traitement que je viens de décrire, et quoique j'eusse opéré à l'air sodifère du laboratoire, le chlorate essayé a communiqué à la flamme d'un brûleur de Bunsen un caractère sodique si peu prononcé qu'il a fallu recourir à l'analyse spectrale pour y constater avec certitude la présence du sodium.

La solution du sel n'a plus troublé l'azotate d'argent, mais le chlorate

Digitized by Google

décomposé par la chaleur a dégagé sensiblement de chlore, et le chlorure qui en est provenu, volatilisé par le moyen indiqué ci-dessus, a laissé un faible résidu, dans lequel j'ai constaté la présence de la silice, du potassium, du sodium, de l'aluminium et du calcium.

Ayant reconnu, ainsi que je l'ai exposé plus haut, par des expériences préliminaires, qu'en continuant le traitement dans des capsules de porcelaine et dans le verre, on introduit dans le chlorate autant de silice et de sodium que l'emploi du sulfhydrate de potassium permet d'en éliminer, j'ai continué les opérations exclusivement dans le platine et, autant que possible, dans de l'air confiné et purifié. A cet effet, j'ai opéré la dissolution dans de l'eau portée à l'ébullition dans la cucurbite d'une grande cornue de platine surmontée de son chapiteau, dont *le col contenait un fort tampon de coton lavé à l'alcool éthéré, séché et imbibé ensuite d'une solution de chlorate de potassium saturée.*

Lorsque l'eau a été saturée, le liquide a été rendu alcalin par du sulfhydrate de potassium, et immédiatement refroidi en plongeant la cucurbite dans de l'eau froide continuellement renouvelée et remplacée à la fin par de la neige. En inclinant la cornue sur le côté, on a fait écouler l'eau mère par l'ouverture du col du chapiteau, dont on avait retiré le tampon de coton imbibé de chlorate dissous. En pénétrant ensuite la masse saline avec un tube résistant de caoutchouc, traité successivement par une solution diluée et bouillante de potasse pure, par l'acide acétique dilué et enfin par de l'eau pure, on a éliminé par aspiration le restant de l'eau mère, qu'on a remplacé à plusieurs reprises par de petites quantités d'eau glacée, contenant de l'hydrate de potassium, et ensuite par de l'eau pure glacée, jusqu'à ce que le liquide aspiré fût tout à fait neutre au tournesol.

Après ce *quatrième* traitement, le sel introduit dans la flamme du brûleur de Bunsen lui a imprimé une coloration *bleu pâle*. Au moment de faire l'essai, l'air de la grande salle où je travaillais ne donnait aucune trace de spectre sodique; néanmoins, après l'introduction du chlorate, au bout d'une boucle en fil fin de platine récemment rougie, on a aperçu, quoique très faiblement, la raie sodique.

Quelques grammes de ce chlorate ont été transformés en chlorure par

Digitized by Google

l'action de la chaleur, et celui-ci a été volatilisé par le moyen indiqué ci-dessus. Lorsqu'ils ont été réduits au centième environ de leur volume primitif, le résidu a commencé à former de très faibles anneaux concentriques de silicate fusible à température plus élevée. On a poussé la volatilisation jusqu'au bout, et le chlorure s'est évaporé *sans déposer des points brillants, mais une série d'anneaux excessivement minces, incolores, transparents et très fusibles.* Ces petits anneaux, chauffés au dard oxhydrique, lui ont communiqué une coloration *violette.* L'analyse prismatique de la flamme a permis de constater la présence de la raie sodique à côté du spectre du potassium, mais l'absence complète des raies caractéristiques du calcium, quoique cependant la température ait été portée assez haut pour fondre le platine dans lequel le chlorure a été volatilisé.

En présence de ce résultat, j'ai renouvelé la solution du chlorate et sa cristallisation au sein de l'eau à un millième d'hydroxyde de potassium du nitre aussi pur que j'ai pu me le procurer. J'ai effectué le lavage successif du sel à l'aide de cette même eau alcaline glacée, et enfin à l'eau pure glacée, en agissant comme je l'ai exposé ci-dessus, dans une grande salle, *distincte du laboratoire.*

Le chlorate de ce *cinquième* traitement a coloré en *bleu pâle et pur* la flamme d'un brûleur de Bunsen, et à l'analyse prismatique de cette flamme je n'ai pas aperçu la raie sodique plus fortement que dans l'air sans chlorate.

J'ai transformé encore en chlorure une partie du sel. Sa dissociation s'est effectuée sans dégagement de chlore. Dix grammes du chlorure absolument incolore et *neutre,* se sont volatilisés sans laisser trace de résidu visible au microscope.

Craignant néanmoins la présence de traces de poussières et d'alcali dans la masse saline, j'en ai effectué la solution dans l'eau pure presque bouillante, et j'ai fait passer le liquide saturé par des petits filtres de papier purifié à l'eau acidulée par les acides fluorhydrique et chlorhydrique et l'eau pure, et contenus dans des entonnoirs de platine. Les liquides filtrés ont été reçus dans des vases de platine, *le tout étant placé sur des plans de verre doucis et couverts d'une cloche à douille, à bords rodés et doucis, et à parois mouillées,* pour empêcher la chute des poussières de l'air.

Digitized by Google

Après filtration et un lavage soigné des filtres à l'eau, il m'a été impossible de constater à la surface du papier la moindre trace de poussière ou de dépôt quelconque.

La solution filtrée, qui n'était plus saturée à l'ébullition, a été réunie dans la grande cornue de platine dont le col pénétrait très avant dans un ballon, et concentrée jusqu'à pellicule, puis brusquement refroidie. L'eau mère, quoique colorant la flamme en bleu pâle et *ne donnant pas la raie* sodique, a été complètement écartée. Le chlorate a été séché dans la cornue de platine surmontée de son chapiteau, dont le long col pénétrait profondément dans un ballon rempli d'air purifié, en plaçant la cornue dans un bain d'air chauffé vers 100°.

Des *cinq kilogrammes* de sel du commerce mis en œuvre en deux opérations, je n'ai retiré que *quatre cents grammes* de chlorate que j'ai pu regarder comme pur, soit *huit pour cent* seulement du poids du sel employé.

A l'aide du chlorate obtenu dans chaque opération, j'ai fait, avec tous les soins possibles, un essai pour déterminer la quantité de matière fixe que laisse à l'évaporation le chlorure qu'il fournit par sa dissociation effectuée dans un creuset de platine couvert. J'ai pris $5^{gr},007$ de chlorure du premier chlorate et $8^{gr},190$ de chlorure du second chlorate; dans l'un et l'autre essai, la matière mise en expérience s'est volatilisée *sans laisser trace de résidu, je ne dis pas pondérable, mais visible au microscope.*

Ces deux recherches, dont l'exécution a été aussi laborieuse que fastidieuse, me permettent de déclarer qu'en se plaçant dans des conditions convenables, il est possible, contrairement à ce que j'ai pensé autrefois, de se procurer du chlorate et, partant, du chlorure de potassium privé *absolument* de sodium et de matières fixes.

Préparation du perchlorate de potassium.

Le chlorate de potassium, dont j'ai exposé ci-dessus la préparation, devait servir à l'obtention du perchlorate et du chlorure de potassium purs.

D'après ce que j'ai dit plus haut, j'ai eu pour but d'opérer la décomposition du chlorate de manière à produire, d'une part, la plus grande quantité

Digitized by Google

possible de perchlorate, et, d'autre part, une quantité de perchlorate suffisante seulement pour la production du chlorure nécessaire à la détermination de son rapport proportionnel avec l'argent.

Les travaux de M. De Marignac ont fait connaître les règles à suivre pour arriver à ce résultat, et je n'ai rien à y ajouter. Je me bornerai à dire que j'ai opéré la transformation du chlorate en perchlorate et en chlorure, dans la cucurbite préalablement *polie intérieurement,* d'une grande cornue de platine, dont le long col du chapiteau était engagé très avant dans un large tube, long de 50 centimètres, contenant une colonne d'amiante feutrée, ainsi que je l'expose plus loin dans une notice spéciale.

La cornue reposait, par trois points seulement, sur un double triangle en terre de pipe, dont la solidité était assurée par des fils de fer traversant les tiges ; elle était chauffée à l'aide de la flamme d'un *seul* brûleur de Bunsen, et, afin de régulariser la chaleur, ce qui est *indispensable,* deux toiles métalliques, à tissu serré, étaient interposées, distantes l'une de l'autre de 1 centimètre et la supérieure éloignée de 1 centimètre du fond de la cucurbite.

J'ai effectué la transformation en quatre opérations : deux ayant pour but d'obtenir de 50 à 60 °/₀ environ de perchlorate de potassium, et deux, 10 °/₀ seulement de ce sel, tout en décomposant entièrement le chlorate mis en expérience.

La première opération a été exécutée à la plus basse température possible ; elle a exigé pour s'accomplir au delà de vingt-six heures. J'ai constaté ainsi qu'en maintenant le chlorate fondu à la température à laquelle il se produit un dégagement lent d'oxygène et que le vase fait entendre un bruit ou chant analogue à celui qu'on entend lorsque de l'eau aérée est chauffée vers 80° dans un vase métallique, la dissociation s'effectue avec production de chaleur, la masse fondue se trouble à la longue et finit par devenir pâteuse. Arrivé à cet état, tout le chlorate est détruit et le maximum de perchlorate est obtenu. Le dédoublement s'effectue sans dégagement de trace de chlore, mais l'oxygène dégagé sent l'*ozone*. Si, pendant la dissociation, qui est exothermique, on n'a pas suffisamment modéré l'application de la chaleur, la masse peut s'échauffer jusqu'à produire l'incandescence du vase de platine, ainsi que je l'ai constaté souvent en exécutant la dissociation du

Digitized by Google

chlorate dans un creuset de platine couvert. Dans ce cas, non seulement le chlorate se décompose sans formation de perchlorate, mais la majeure partie de ce sel déjà formé se détruit pour ne laisser que du chlorure. Cette décomposition est alors explosive et peut, si l'on n'y prend garde, entraîner la perte d'une partie du sel soumis à l'action de la chaleur. Que le dédoublement s'effectue d'une manière *lente* ou *brusque,* le chlorure et le perchlorate produits sont blancs, il n'y a aucun dégagement de chlore libre, le chlorure est absolument neutre au tournesol et le vase de platine poli n'est nullement altéré.

J'ai mis les plus grands soins à m'assurer de ces faits, ainsi qu'il est dit dans la notice spéciale consacrée à ce sujet, parce que lors de mes travaux antérieurs, en opérant sur du chlorate silicifère, j'ai toujours constaté un dégagement sensible de chlore, une très légère attaque du platine et la présence de ce métal à l'état de chloroplatinate dans le chlorure produit.

Je me suis conduit d'après ces données pour obtenir la plus grande quantité possible de perchlorate.

Dans deux opérations exécutées dans ce but et menées à bonne fin, j'ai chauffé le chlorate à une température suffisante seulement pour provoquer un dégagement *très faible* d'oxygène, et j'ai maintenu pendant *deux jours et demi* consécutifs la chaleur à l'état stationnaire, depuis 8 heures du matin jusqu'à 6 heures du soir, laps de temps qu'il a fallu pour rendre la masse pâteuse et obtenir, à la température constante, la cessation du dégagement d'oxygène et l'absence de très légère fumée dans le large et long tube où pénétrait le col du chapiteau de la cornue.

Pour me procurer le perchlorate nécessaire à la production de la quantité de chlorure voulue pour la détermination de son rapport proportionnel avec l'argent, je me suis fondé sur le temps qu'exige, *à température constante et la moins élevée possible,* la décomposition totale du perchlorate opérée sur un mélange à poids à peu près égaux de chlorure et de ce sel, provenant de 100 grammes environ de chlorate.

Après la cessation du dégagement d'oxygène à température constante, phénomène concomitant de la dissociation complète du chlorate et de la formation du maximum de perchlorate compatible avec cette dissociation,

Digitized by Google

j'ai élevé lentement la température jusqu'à provoquer, à nouveau, un dégagement faible d'oxygène et l'apparition de fumée saline; j'ai ensuite maintenu la température stationnaire pendant six heures. J'avais constaté, par un essai préliminaire, qu'il fallait au moins douze heures pour décomposer, à cette température, la totalité du perchlorate contenu dans le mélange.

Séparation du perchlorate et du chlorure de potassium.

J'ai procédé à cette séparation en reprenant, par de l'eau pure froide, la masse saline et en employant successivement une quantité d'eau suffisante seulement pour la solution du chlorure à saturation. Immédiatement après la dissolution du chlorure, opérée dans l'air confiné et purifié, le liquide introduit dans la flamme d'un brûleur de Bunsen l'a coloré en bleu, mais d'une teinte beaucoup *plus foncée* que celle produite par le chlorate. Cette solution a été décantée chaque fois, et, quoique tout à fait limpide, elle a été versée directement sur un filtre purifié, avec les plus grands soins, aux acides fluorhydrique et chlorhydrique dilués et à l'eau pure, et contenu dans un entonnoir de platine, couvert d'une cloche à douille à parois mouillées, ainsi que le plan de verre sur lequel le tout reposait. Le liquide, reçu dans une capsule de platine partiellement couverte, a été évaporé à pellicule, sous une cloche remplie d'air saturé d'humidité, pour empêcher, *dans la limite du possible*, la solution à *saturation* de s'élever le long des bords de la capsule et d'y déposer ensuite du chlorure solidifié.

L'eau mère du chlorure cristallisé par refroidissement était *neutre* au tournesol; elle a été décantée dans une capsule de platine et évaporée de nouveau jusqu'à saturation sous une cloche à parois humides. Le chlorure déposé par le refroidissement a été séparé de l'eau mère, et celle-ci a été évaporée jusqu'à siccité sous une cloche à parois humides, en écartant soigneusement le chlorure qui était monté le long des bords de la capsule. En agissant ainsi, j'ai obtenu en quantités décroissantes, trois échantillons de chlorure formé en même temps que le perchlorate.

J'ai recherché, avec les plus grands soins, le spectre de chacun de ces trois échantillons; je l'ai trouvé identique pour les trois.

Digitized by Google

L'échantillon intermédiaire a servi à la détermination de son contenu en matières fixes, contenu que j'ai trouvé nul.

Je dis plus loin comment j'ai traité chacun de ces chlorures pour les faire servir à la mesure de leur rapport proportionnel avec l'argent pur.

Sans sortir le perchlorate en poussière cristalline de la cucurbite de la cornue, je l'y ai soumis à trois cristallisations successives en écartant chaque fois l'eau mère et l'eau de lavage qu'on a traitées à part; elles ont fourni une masse saline colorant en bleu *pâle* la flamme de l'hydrogène et donnant un spectre potassique, privé de la raie sodique, identique à celui du chlorure formé en même temps que le perchlorate.

La solution bouillante de perchlorate, introduite au bout d'une spirale de fil fin de platine dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, a coloré cette flamme en bleu très pâle. *L'analyse prismatique n'a pas permis de constater la raie sodique.* Cet essai a été répété à plusieurs reprises, lorsque l'état de l'air l'a permis, et toujours avec le même résultat.

J'avais plongé dans la même solution bouillante de perchlorate un grand nombre de spirales de fil fin de platine enduites de mousse de ce métal, et préalablement rougies; je les avais abandonnées sous une grande cloche remplie de l'air de la salle où je travaillais, dans le but de montrer à plusieurs personnes la coloration bleue imprimée à la flamme par le perchlorate pur et l'absence de la raie sodique dans le spectre de cette flamme. J'ai constaté qu'après vingt-cinq à trente minutes, le perchlorate cristallisé sur les spires de platine avait emprunté à l'air suffisamment de sodium pour faire apparaître la raie sodique d'une manière excessivement faible à la vérité, mais indubitable. En effet, depuis l'instant où j'avais abandonné les spirales sous la cloche, l'air de la salle, qui s'échange par diffusion avec l'air de la cloche, était devenu sodique par suite du mouvement qu'on avait fait dans la salle. Il faut avoir été aux prises avec toutes les difficultés qu'on rencontre dans l'exécution de recherches de cette nature pour s'en faire une idée exacte. Je m'explique du reste longuement à ce sujet dans l'étude que j'ai faite de l'air atmosphérique, et à laquelle je me permets de renvoyer le lecteur.

Le perchlorate de potassium cristallisé, à trois reprises différentes, dans la cucurbite de la cornue de platine, couverte de son chapiteau et remplie d'air

Digitized by Google

confiné et purifié, y a été transformé en chlorure. Cette décomposition, opérée avec précaution, ne présente aucune difficulté : *le dédoublement en chlorure et en oxygène s'effectue sans dégagement de trace de chlore, et le chlorure est neutre au tournesol.*

J'ai traité le chlorure provenant du perchlorate absolument de la même manière que le chlorure qui s'est formé en même temps que ce sel, c'est-à-dire qu'on l'a repris par une quantité d'eau froide suffisante seulement pour le dissoudre. La solution a été filtrée au travers de papier soigneusement purifié, sans laisser, après lavage du filtre, trace de résidu. Le liquide limpide a été évaporé à 100° jusqu'à saturation dans une capsule de platine, partiellement couverte d'une feuille du même métal, et sous une cloche à parois mouillées. L'eau mère décantée du chlorure qui avait cristallisé, a été évaporée à son tour jusqu'à saturation à 100°, et enfin la nouvelle eau mère a été réduite à siccité dans un vase de platine partiellement couvert, sous une cloche à parois mouillées.

J'ai eu ainsi trois échantillons de chlorure du perchlorate formé dans la condition d'obtenir par la dissociation du chlorate d'une part la plus grande quantité de ce sel et la moindre quantité possible de chlorure, et d'autre part le sixième au plus de perchlorate et le restant de chlorure.

L'échantillon intermédiaire du chlorure du perchlorate a servi à déterminer le spectre du métal qui y est contenu ; j'ai trouvé ce spectre *identique* à celui du chlorure formé en même temps que le perchlorate.

Enfin, j'ai eu à ma disposition trois échantillons, en quantités décroissantes, par voie de cristallisation, de chlorure formé lors d'un essai fait pour étudier les conditions à remplir pour la décomposition *partielle* du perchlorate formé après la dissociation complète du chlorate.

Tous les chlorures ont fourni, avec l'eau, une solution absolument *limpide* et *neutre* au tournesol ; néanmoins, chauffée dans le platine avec du chlorure d'ammonium pur et à *réaction acide,* et dont la température avait été élevée assez pour émettre des vapeurs blanches, elle a produit une vapeur bleuissant manifestement le papier rouge de tournesol.

Craignant la présence de traces de sulfate de potassium dans ces chlorures, je les ai soumis tous à un traitement spécial.

Digitized by Google

Traitement du chlorure de potassium par le chlorure d'ammonium pur.

Tous les échantillons de chlorure de potassium indiqués ci-dessus ont été fondus avec du sel ammoniac pur, qui a été préparé en faisant passer simultanément dans de l'eau pure, contenue dans un grand appareil de platine, de l'ammoniaque gazeuse et de l'acide chlorhydrique, en ayant soin de maintenir constamment l'*ammoniaque en excès*. Les gaz ont été amenés par des tubes de caoutchouc convenablement purifié, et lestés au platine pour maintenir au fond leur bout ouvert.

La solution répandant une odeur d'ammoniaque prononcée, a été évaporée dans l'appareil en platine jusqu'à saturation. Après le refroidissement, opéré rapidement, l'eau mère a été décantée et écartée complètement.

Le chlorure d'ammonium resté dans l'appareil ne présentait pas *de réaction sodique,* preuve que, dans les conditions indiquées ci-dessus, l'ammoniaque et l'acide chlorhydrique gazeux n'amènent trace de sodium. J'insiste sur ce point, car l'emploi de ce sel ammoniac pour transformer des oxydes privés de sodium en chlorures fournit toujours ces composés donnant des signes certains de la présence du sodium lorsque ces chlorures sont *hygrométriques*. Dans l'exposé de mes recherches sur le chlorure de calcium, je reviendrai sur ce sujet.

Ayant constaté que le sel ammoniac divisé emprunte rapidement du sodium à l'air, j'ai pris le parti de le sublimer dans le platine, *au sein d'une atmosphère d'ammoniaque sèche*. A cet effet, j'ai placé sur une rondelle de tôle d'une étuve à gaz, que j'ai décrite et figurée page 126 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques,* la cornue de platine contenant le sel à sublimer, en prenant la précaution de laisser en dehors de l'étuve les *deux tiers supérieurs* de la cornue, et d'abriter cette partie à l'aide d'une seconde rondelle de tôle contre le courant gazeux porté à la température de la volatilisation du sel ammoniac.

Après avoir engagé, à frottement, le col du chapiteau de la cornue, aussi avant que possible, dans un long tube, j'ai fait passer par celui-ci, et jusqu'à

Digitized by Google

l'entrée du dôme du chapiteau, un tube à dégagement d'ammoniaque sèche, adapté, à l'aide d'un bouchon, au bout opposé de celui-ci.

L'air de la cornue étant complètement remplacé par de l'ammoniaque sèche, j'ai réglé de la manière suivante la chaleur à donner au courant gazeux provenant de la combustion du gaz de l'éclairage, pour produire une sublimation lente du sel ammoniac. Dans ce but, j'ai disposé contre le fond de la cornue de platine, en remplacement d'un thermomètre, un tube bouché par un bout, contenant du sel ammoniac et dont le bout ouvert sortait de l'étuve. Lorsque, par suite de l'élévation de la température du courant gazeux, j'ai vu se déposer *lentement* du sel ammoniac sous forme d'anneau sur la partie du tube bouché sortant de l'étuve, j'ai maintenu, pendant *cinq heures*, constant, à l'aide d'un régulateur, le courant de gaz de l'éclairage en combustion dans l'étuve. Cinq heures sont effectivement nécessaires pour la sublimation lente d'environ 150 grammes de sel ammoniac, quantité sur laquelle j'ai opéré.

Je suis entré dans ces détails minutieux, parce que j'en ai été sollicité par des chimistes qui, ayant voulu se procurer du sel ammoniac sublimé dans le platine, en se conformant aux indications consignées page 52 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques,* ont échoué dans leur tentative.

Le sel ammoniac volatilisé dans les conditions que je viens de décrire se condense dans la cucurbite même, sous forme d'un anneau *très épais, transparent, incolore, élastique,* qui se détache spontanément après quelque temps de refroidissement, en devenant tout à fait opaque. Le chapiteau se remplit de sel ammoniac pulvérulent, exhalant une forte odeur d'ammoniaque, et empruntant rapidement du sodium à l'air.

Le chlorure d'ammonium sublimé ne communique aux flammes aucun caractère sodique; mais conservé sous une cloche, à l'abri des poussières de l'air, il condense lentement à sa surface des composés sodiques, comme le font d'ailleurs tous les corps solides, dans des conditions analogues.

Je reviens au traitement du chlorure de potassium par le chlorure d'ammonium.

Pour opérer la fusion du chlorure de potassium, j'ai placé au fond d'un

Digitized by Google

grand creuset de platine, *absolument privé de fer*[1], d'abord un lit de chlorure alcalin en poudre cristalline, puis un fragment de sel ammoniac, et j'ai rempli ensuite le creuset du chlorure à fondre mêlé de quelques petits fragments de sel ammoniac. Après avoir couvert le creuset de son couvercle, je l'ai chauffé lentement au rouge sombre, puis maintenu au moins quinze minutes au *rouge vif,* jusqu'à ce que, en soulevant le couvercle, les bulles gazeuses, qu'on observe sur les parois d'un creuset contenant du chlorure alcalin fondu avec du sel ammoniac, eussent disparu. J'ai coulé rapidement le chlorure dans une capsule de platine, récemment rougie et refroidie. Si l'opération a été bien conduite, c'est-à-dire si le chlorure a été maintenu suffisamment longtemps en fusion à température élevée, le culot est *incolore, limpide, transparent* et ne renferme aucune bulle gazeuse.

Lorsque j'ai constaté la présence de bulles, signe de l'existence du sel ammoniac ou des produits de la décomposition, *j'ai soumis le culot à la refonte* dans un double creuset de platine pur, et j'ai versé ensuite le chlorure fondu dans une capsule de platine.

Les culots refroidis ont été concassés dans un mortier d'agathe, et les cassons, dont les bords étaient devenus laiteux, introduits dans des flacons bouchés à l'éméri.

Provenant de chlorate et de perchlorate ne laissant à la volatilisation aucune trace de matière fixe, je me suis naturellement dispensé de rechercher à nouveau si les chlorures en contiennent. Les soins minutieux et fastidieux, mais indispensables lorsqu'il s'agit de résoudre des questions de principe,

[1] On prive un creuset confectionné avec du platine pur, du fer que le martelage y introduit, en le traitant au rouge sombre par du chlorure d'ammonium. On répète ce traitement jusqu'à ce qu'on obtienne, par la fusion d'un mélange de chlorure alcalin et de sel ammoniac purs, un culot de chlorure *fondu*, complètement *incolore* Tant que le platine retient des traces de fer, un chlorure alcalin qu'on fond dans ce métal avec du sel ammoniac produit une masse colorée en rouge ou en rose, et abandonne de l'oxyde ferrique par sa dissolution dans l'eau. Les chlorures alcalins fondus dissolvent sensiblement de l'oxyde ferrique et l'abandonnent par le refroidissement. Il suffit de reprendre par de l'eau froide les chlorures ferrifères fondus, pour obtenir par filtration de la solution et l'évaporation du liquide, une masse saline tout à fait blanche, qu'on peut fondre dans un creuset de platine pur avec du sel ammoniac, pour obtenir, par la solidification, un culot absolument incolore.

Digitized by Google

que j'ai pris pendant le travail de préserver les sels de la chute des poussières siliciques et sodiques de l'atmosphère, répondent assez de leur degré de pureté.

Chlorure de potassium du chloroplatinate de potassium.

Après avoir constaté la possibilité de priver le chlorate de potassium *de toute matière fixe*, j'ai tenu à me procurer du chlorure du chloroplatinate de potassium obtenu à l'aide du chlorate susceptible d'être volatilisé en entier. En agissant ainsi, j'avais pour but de contrôler mes anciennes déterminations du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure de potassium, et de m'assurer en même temps de l'homogénéité de ce chlorure.

Pour la préparation du chloroplatinate, j'ai suivi la méthode des précipitations fractionnées, telles que M. Bunsen les a pratiquées pour la séparation du potassium, du césium, du rubidium et du sodium.

Je m'étais procuré, ainsi que je l'ai dit page 231 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, à l'aide de cristallisations successives, une très grande quantité de chlorate de potassium privé de métaux étrangers. Le chlorure qui en provenait laissait à la volatilisation *cinq cent millièmes* de silice mêlée de silicate de potassium et de sodium. Aussi donnait-il à l'analyse spectrale des signes persistants de la présence de ce dernier métal.

J'ai soumis au delà d'un demi-kilogramme de ce chlorate purifié, dans un grand appareil distillatoire en platine, à trois nouvelles cristallisations dans l'eau rendue alcaline par un millième d'hydroxyde de potassium du nitre pur, contenant des traces seulement de sulfure de potassium; j'ai opéré les dissolutions, les cristallisations, les essorages, les lavages à l'eau pure, autant que possible dans l'air confiné et purifié, en prenant toutes les précautions indiquées ci-dessus, et notamment en évitant soigneusement de laisser pénétrer l'air du laboratoire dans la salle où j'opérais, et l'air de cette salle dans l'appareil de platine.

Le chlorate provenant du troisième traitement ne donnait plus la raie sodique, et le chlorure qu'il laissait par sa dissociation se volatilisait ***sans résidu aucun.***

Digitized by Google

J'ai redissous une quatrième fois le chlorate, mais dans l'eau pure, pour être certain de lui enlever tout hydroxyde de potassium employé. J'ai obtenu ainsi environ *cent cinquante grammes* de sel pur, qui a été amené en une fois à l'état de chlorure, en le chauffant avec des précautions extrêmes dans une grande cornue de platine, surmontée de son chapiteau, et en prenant les dispositions exposées ci-dessus pour m'assurer si la dissociation s'effectue sans dégagement de chlore. J'ai constaté, en effet, que la transformation du chlorate en chlorure s'est effectuée sans dégagement de trace de chlore.

Le chlorure produit était *neutre* au tournesol; il ne donnait à l'analyse prismatique trace de raie sodique, et colorait la flamme de la lampe de Bunsen en *bleu foncé*. Je l'ai dissous dans deux litres d'eau pure condensée *dans un serpentin de platine* [1], et j'ai versé la solution dans un appareil distillatoire de platine, de cinq litres de capacité, susceptible d'être clos à l'aide d'un bouchon de platine, pour empêcher l'air d'y pénétrer.

Du chlorure platinique.

J'ai préparé, d'autre part, du chlorure platinique aussi pur qu'il m'a été possible de l'obtenir. A cet effet, j'ai dissous 150 grammes de platine (privé d'iridium, de rhodium, de fer et de silicium et laminé fin, décapé à l'acide chlorhydrique bouillant) dans de l'eau régale pure, contenue dans une capsule de porcelaine de Sèvres, surmontée d'un entonnoir en verre à bords recourbés intérieurement, formant ainsi rigole, à laquelle est soudé

[1] L'eau employée aux dissolutions et aux lavages, condensée à l'aide d'un serpentin de platine, a été conservée pour l'usage dans un très grand flacon de platine, bouché au platine. Cette eau provenait de l'eau de source distillée successivement : 1° avec un grand excès de solution très alcaline de permanganate de potassium, pour détruire les matières organiques; 2° avec une solution de sulfate aluminique, pour fixer les traces de l'ammoniaque renfermée toujours dans l'eau distillée au permanganate; 3° seule, pour retenir les traces du sulfate aluminique entraîné mécaniquement avec la vapeur. Lors des deux premières distillations, la vapeur d'eau a été condensée dans un réfrigérant d'étain. Ce n'est qu'à la troisième distillation qu'on s'est servi d'un serpentin de platine dont la partie supérieure, recourbée, pénétrait très avant dans une douille soudée au couvercle de la chaudière distillatoire, et dont la partie inférieure, également recourbée, pénétrait très avant dans le grand flacon de platine servant de réservoir à l'eau pure.

Digitized by Google

un tube ouvert, destiné à l'écoulement du liquide provenant de la condensation des vapeurs émanées de l'eau régale pendant l'attaque du métal, et l'évaporation de la solution platinique jusqu'à siccité. Le résidu a été repris à l'eau pure. On a répété, à trois reprises différentes, les dissolutions à l'eau et les évaporations afin d'éliminer, aussi complètement que possible, le composé nitreux qu'il retient opiniâtrement.

Lors de la dissolution du platine, des évaporations et des redissolutions, la capsule, couverte de l'entonnoir condensateur, qui contenait les produits, était renfermée dans une cage de verre close, en communication avec une cheminée d'appel.

Le chlorure platinique était d'un rouge brunâtre à l'état solide; il s'est dissous dans l'eau en produisant une solution limpide, mais colorée en jaune rougeâtre. Craignant la présence du chlorure platinoso-platinique, j'ai porté la solution à l'ébulition, et, à l'aide d'un tube traversant le bec de l'entonnoir, j'y ai fait passer un courant de chlore lavé, sous l'influence duquel elle est devenue d'un jaune orangé intense, quoique assez concentrée. Après avoir atteint ce résultat, j'ai interrompu le courant de chlore et j'ai maintenu la solution à 100°, jusqu'à ce qu'elle ne répandît plus l'odeur de chlore.

Immédiatement après sa préparation, j'ai porté, au bout d'une spirale en fil fin de platine récemment rougie, la solution dans la flamme d'une lampe de Bunsen; l'analyse prismatique de la flamme m'a permis de constater la présence de la raie sodique, jusqu'à ce que le platine provenant de la réduction du chlorure fût ramené à l'état de vive incandescence. L'expérience renouvelée dans la flamme de l'hydrogène a donné le même résultat. *Je n'ai pas aperçu d'autres raies.*

L'air de la cage de verre dans lequel j'ai exécuté les opérations a donc amené du sodium dans le chlorure obtenu, car *les matières employées à sa préparation en étaient entièrement privées.*

Quoi qu'il en soit de la source du sodium, j'ai ajouté de l'eau pure à la solution platinique de manière à amener son contenu à *dix* pour *cent* de chlorure.

Digitized by Google

Du chloroplatinate de potassium.

J'ai ajouté petit à petit, et sous une agitation continue de cette solution platinique, à la solution de chlorure de potassium, un volume suffisant pour transformer en chloroplatinate environ les *quatre dixièmes* du composé potassique dissous, et j'ai laissé pendant *douze heures* le précipité en contact avec l'eau mère, en prenant soin de remettre le précipité en suspension chaque fois qu'il s'était déposé par le repos, ce dont on s'assurait en dévissant le bouchon de platine de l'appareil et en prélevant vers le milieu de la masse une partie du liquide.

Modifications du chloroplatinate de potassium. — La solution limpide a été décantée dans un grand vase de platine couvert. Elle était plus intensément colorée en jaune que ne l'est une solution aqueuse froide de chloroplatinate de potassium. J'ai observé ce fait à plusieurs reprises, en précipitant, *à froid*, un excès de chlorure potassique par du chlorure platinique, en solution étendue. Il suffit de porter à l'ébullition la solution fortement colorée pour que, par le refroidissement brusque ou lent, le liquide perde considérablement de son intensité colorante, en déposant en même temps du chloroplatinate grenu, très brillant, d'un jaune citron.

J'ai constaté le même fait, et à un degré plus prononcé, en précipitant par du chlorure platinique une solution froide de chlorure d'ammonium contenant un excès de ce composé en suspension pour maintenir l'eau mère à saturation. Le liquide reste intensément coloré en jaune pur; en le portant à l'ébullition et en l'abandonnant ensuite au refroidissement spontané, il se décolore complètement, en déposant du chloroplatinate d'ammonium cristallisé et coloré en jaune très orangé, mêlé de sel ammoniac cristallisé, ce dont on s'assure aisément en reprenant le tout par une solution à moitié saturée de chlorure d'ammonium qui dissout le sel ammoniac sans toucher au chloroplatinate d'ammonium.

Il existe donc deux modifications du chloroplatinate de potassium et du chloroplatinate d'ammonium; elles se distinguent par leur état physique et par leur solubilité relative. Ces modifications sont fonctions de la tempéra-

Digitized by Google

ture à laquelle ces chlorosels prennent naissance. Produits *à froid,* ils sont floconneux, d'un jaune *terne* et notablement solubles dans des solutions saturées des chlorures alcalins qui entrent dans leur composition.

Obtenus vers 100°, ces composés sont toujours grenus, cristallins, *à peine* solubles à froid dans des solutions saturées des chlorures alcalins et se séparant complètement par le refroidissement des solutions bouillantes et saturées de ces chlorures et notamment le chloroplatinate d'ammonium.

Je reviens au précipité de chloroplatinate de potassium resté dans l'appareil de platine; il était *floconneux*, d'un jaune terne; je l'ai suspendu dans l'eau pure, dans laquelle il s'est sensiblement dissous en colorant ce liquide en jaune pur, et j'ai introduit la bouillie avec les eaux de lavage du vase dans la cucurbite d'une cornue de platine couverte de son chapiteau, où j'ai procédé par décantation au lavage du précipité. J'ai continué le lavage jusqu'à ce que l'eau de décantation, colorée en jaune, convenablement concentrée à l'ébullition, refroidie et séparée du chloroplatinate cristallisé, *ne précipitât plus par une solution au dixième de chlorure platinique.*

Le lavage, pour être terminé, a entraîné la solution de près de la moitié du volume du chloroplatinate floconneux obtenu. J'ai remarqué du reste que pendant le lavage le composé passait lentement de l'état floconneux à l'état grenu.

Avant de procéder à la dessiccation, qui a été effectuée dans la cucurbite de platine surmontée de son chapiteau, et partant autant que possible à l'abri de l'air ambiant, j'ai eu soin de porter, au bout d'une boucle en fil fin de platine, une partie du chloroplatinate dans la flamme de l'hydrogène qu'il a colorée en *bleu verdâtre*, du commencement jusqu'à la décomposition complète du chlorure platinique. La flamme est devenue ensuite d'un *bleu violacé.* L'analyse prismatique de ces flammes a permis de constater, avec le spectre potassique, la raie sodique d'une manière *plus intense* que dans l'hydrogène, brûlant au même moment dans l'air.

Par sa dessiccation opérée à 100°, le chloroplatinate s'est beaucoup contracté; sa couleur est passée au jaune-citron très éclatant. Il a été conservé dans un vase de platine couvert, sous une cloche à bords *rodés* et *graissés*, sur un plan de verre douci, jusqu'à sa réduction par l'hydrogène.

Digitized by Google

Les eaux de lavage du chloroplatinate furent successivement ajoutées à l'eau mère de précipitation. Ce liquide, dont le volume était de 2 ½ litres environ, contenait à peu près les *deux tiers* du chlorure de potassium mis en expérience.

Le liquide étant trop étendu d'eau pour laisser précipiter, par l'addition de la solution de chlorure platinique au dixième, la quantité de chlorure de potassium que je voulais en éliminer, je l'ai concentré dans l'appareil même et je l'ai réduit au volume de 1350 centimètres cubes.

Pendant la concentration, il s'est déposé notablement du chloroplatinate de potassium, et la quantité en a augmenté encore par le refroidissement. J'ai ajouté ensuite au liquide, petit à petit, un volume de solution au dixième de chlorure platinique égal à celui employé en premier lieu. J'ai maintenu le précipité floconneux en suspension dans l'eau mère pendant toute une journée. Après ce laps de temps, le tout a été abandonné au repos. J'ai décanté enfin le liquide surnageant, fortement coloré en jaune, et j'ai procédé au lavage du chloroplatinate floconneux dans la cucurbite de la cornue de platine, de la manière indiquée pour le premier chlorate précipité. Lorsque le lavage était achevé, le composé platinico-potassique ressemblait en tous points au premier, quoiqu'il contînt du chlorosel à l'état grenu. Par sa dessiccation à 100°, dans la cucurbite de la cornue surmontée de son chapiteau, il est devenu d'un jaune-citron très brillant.

Introduit, *avant sa dessiccation,* à l'aide d'une boucle en fil fin de platine récemment rougie, dans la flamme de l'hydrogène, il a coloré celle-ci d'abord en *bleu verdâtre,* ensuite en *bleu violacé.* L'analyse prismatique des flammes a fait constater à côté du spectre potassique, *identique* à celui du premier chloroplatinate, la raie sodique plus prononcée que dans l'hydrogène brûlant dans le même air. Toutefois, l'intensité colorante de la raie sodique n'était pas supérieure à celle offerte par le premier chloroplatinate.

Après sa dessiccation, le chlorosel a été conservé dans un vase de platine, couvert, sous la même cloche que le précédent.

Les eaux de lavage du chloroplatinate ont été successivement ajoutées à l'eau mère de précipitation; le volume total du liquide était d'environ *deux mille six cents centimètres cubes.* Je l'ai concentré dans l'appareil distillatoire

Digitized by Google

en platine jusqu'au volume de *sept cents centimètres cubes*. Par le refroidissement, le liquide a déposé une notable quantité de chloroplatinate.

Tout en laissant ce composé dans le liquide, j'y ai ajouté, *à froid*, petit à petit et sous l'influence d'une agitation continuelle, de la solution de chlorure platinique au dixième, tant qu'il s'est troublé, afin d'en éliminer, à l'état de chloroplatinate, tout le métal susceptible d'être ainsi précipité. Après un repos de dix-huit heures, j'ai décanté l'eau mère, très faiblement colorée en jaune, et j'ai procédé au lavage par décantation, en agitant comme je l'ai fait pour les deux premiers chlorates. Les eaux de lavage ayant déjà dissous au delà du tiers du volume du chloroplatinate, lorsque je parvenais encore à constater, dans le produit de leur évaporation, la présence de chlorure platinique libre, j'ai terminé le lavage à l'aide de l'alcool anhydre et froid.

Après le lavage, le chloroplatinate était d'un jaune-citron ressemblant complètement à celui dans lequel se transforme le chlorosel floconneux, sous l'influence d'une température de 100°, sauf toutefois qu'il manquait de brillant.

Introduit encore mouillé d'alcool, au bout d'une boucle en fil fin de platine récemment rougie, dans la flamme de l'hydrogène, il lui a communiqué une couleur d'un bleu verdâtre, qui a passé au bleu légèrement violacé. L'analyse prismatique de ces flammes a permis d'apercevoir, à côté du spectre caractéristique du potassium, la raie sodique avec la même intensité relative que pour les deux premiers chloroplatinates.

J'ai enlevé l'alcool au chlorosel en le conservant pendant plusieurs jours sous une cloche, à côté de l'acide sulfurique.

L'eau mère de précipitation, contenant l'excès de chlorure platinique employé et les eaux de lavage saturées de chloroplatinate, qui devaient contenir le chlorosel le plus soluble en cas d'absence d'homogénéité chimique du chlorure alcalin mis en œuvre, furent évaporées avec précaution et par parties à la fois, dans la cucurbite d'une cornue en platine surmontée de son chapiteau, dont le col était engagé aussi avant que possible dans un ballon. Lorsque le volume du liquide fut réduit des trois quarts au moins et que déjà il eut déposé la partie la plus notable du chlorosel dissous, je l'ai refroidi rapidement pour opérer le dépôt à l'état de poussière fine du chloroplatinate resté encore dissous.

Digitized by Google

J'ai retiré le tout de la cucurbite en le versant dans un entonnoir de platine couvert, muni d'une bourre en fils fins de platine. La nouvelle eau mère filtrée, saturée encore de chloroplatinate, a été évaporée à l'ébullition, dans la cucurbite, jusqu'à saturation. Le chlorosel déposé par le refroidissement du liquide concentré a été joint à celui contenu déjà dans l'entonnoir de platine, et la nouvelle eau mère filtrée, introduite dans la cucurbite de la cornue de platine, a été évaporée à siccité au bain-marie. Le résidu, formé de chlorure platinique et de chloroplatinate potassique, a été repris par de l'alcool anhydre, et le tout a été versé dans l'entonnoir de platine contenant le chloroplatinate. J'ai épuisé ensuite la masse de chlorosel par de l'alcool anhydre et froid. L'entonnoir ayant été couvert d'une cloche à douille, j'ai continué le lavage à l'alcool tant que j'ai pu constater dans le dissolvant la présence du chlorure platinique.

Ayant prélevé, à l'aide d'une boucle en fil fin de platine récemment rougie, du chloroplatinate épuisé à l'alcool et l'ayant introduit dans la flamme de l'hydrogène, j'ai constaté qu'il colorait d'abord cette flamme en bleu verdâtre et ensuite en bleu-violet. L'analyse prismatique de ces flammes, répétée à plusieurs reprises, a permis d'apercevoir un *spectre potassique identique* à celui des *trois* chloroplatinates précédents, et la raie sodique sensiblement plus forte que celle observée sur ces trois chlorosels.

Ayant reconnu, à l'aide d'une addition d'éther anhydre, la présence d'un chloroplatinate dans l'alcool qui a servi au lavage du chloroplatinate potassique, j'ai ajouté à cet alcool de l'éther anhydre jusqu'à cessation de trouble. Il a fallu à cet effet un volume d'éther égal aux *deux* tiers du volume de l'alcool. Le précipité formé, épuisé par un mélange à volumes égaux d'alcool et d'éther anhydre, recueilli et séché, pesait $0^{gr},0474$ pour *deux mille quatre cent trente-cinq centimètres cubes* d'alcool éthéré; examiné avec les plus grands soins, j'ai constaté que ce précipité d'un jaune terne se composait exclusivement de chloroplatinate de potassium. En effet, jusqu'à la volatilisation complète du métal alcalin qui y était contenu, il a donné le spectre potassique avec la raie sodique, guère plus fortement que le chloroplatinate lavé à l'alcool seul.

Voulant me renseigner sur la nature des chlorosels restés avec le chlorure

Digitized by Google

platinique dans l'alcool éthéré, j'ai ajouté à celui-ci d'abord de l'eau pure et ensuite une solution de chlorure d'ammonium pur, en quantité suffisante pour transformer en chloroplatinate le chlorure platinique, et j'ai soumis, par partie à la fois, dans la cornue de platine, toute la masse à la distillation, d'abord au bain-marie et ensuite à feu nu, de manière à amener le résidu à siccité complète.

J'ai repris ce résidu par de l'eau bouillante et j'ai évaporé au bain-marie, sous une cloche à parois mouillées, la solution dans une *nacelle de platine.* Le chloroplatinate, qui était d'un jaune pâle et terne, a été réduit à l'hydrogène, dans la nacelle placée dans un tube de verre infusible, à la température la plus basse possible; j'ai volatilisé ensuite dans l'hydrogène le chlorure d'ammonium produit. En effet, dans l'hydrogène, le chloroplatinate d'ammonium se scinde en platine et en chlorure d'ammonium, au-dessous de la température à laquelle ce composé se volatilise. Le sel ammoniac produit lors de la réduction se réunit sous la forme pulvérulente à la surface du métal réduit.

Après la réduction, j'ai épuisé, à l'eau pure, le gris de platine resté dans la nacelle, et j'ai évaporé successivement dans une autre nacelle de platine, tarée dans un tube bouché à l'émeri, toutes les eaux de lavage filtrées. Le résidu de l'évaporation, séché au préalable à 150°, était tout à fait blanc. Son poids, déterminé par substitution, après son refroidissement dans l'air sec, était de $0^{gr},01375$. Ce résidu était fortement hygrométrique et avait *une réaction alcaline prononcée.* J'ai reconnu par l'examen spectroscopique qu'il se composait exclusivement de *chlorure de calcium,* contenant *seulement des traces de sodium et de potassium.*

Quatre-vingts grammes de chlorure de potassium dépourvu complètement de calcium et de sodium ont été mis en expérience. J'ai transformé en chlorure platinique *cent cinquante* grammes de platine préparé par M. Matthey, de Londres, et privé de fer, d'iridium, de rhodium, de silicium et de sodium. *Huit litres* d'eau pure, condensée et conservée dans le platine, ont été employés aux dissolutions et aux lavages.

D'après les essais multiples que j'ai faits de l'eau condensée à l'aide de réfrigérants de platine et de l'eau régale, je puis affirmer que le calcium,

Digitized by Google

trouvé dans le résidu, ne provenait ni de l'eau, ni de l'eau régale employées. Je ne puis donc suspecter que le platine qui a été fondu dans un creuset de chaux, à moins d'admettre que le calcium ait été amené par l'air de la cage de verre, en même temps que les traces de sodium, malgré les soins persévérants que j'ai pris pour me mettre à l'abri des poussières de l'air.

Du reste, j'ai constaté à plusieurs reprises qu'en refondant à l'air, au dard oxhydrique, du platine fondu et refroidi ensuite dans une cavité de chaux, on aperçoit pendant quelques instants le spectre calcique [1].

J'ai réduit séparément le chloroplatinate produit en *premier* et en *dernier* lieu, et j'ai réduit ensemble les portions obtenues en deuxième et en troisième lieu. Ces réductions ont été effectuées dans la cucurbite d'une cornue de platine, plongée dans un bain de magnésie, en suivant exactement toutes les dispositions prises et les moyens que j'ai exposés pages 238 et 239 de mes *Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques*, et en prenant la précaution de les exécuter *à la température la plus basse possible*, afin de ne pas fritter le chlorure alcalin mis en liberté, et à continuer, à cette température, le dégagement de l'hydrogène tant que ce gaz a entraîné avec lui de l'acide chlorhydrique. J'ai chauffé ensuite le bain de magnésie dans lequel la cucurbite était plongée, jusqu'à ce que le mercure, contenu dans un tube bouché d'un bout, incliné et plongé profondément dans la magnésie, fut entré en une douce ébullition. J'ai maintenu ainsi pendant *une heure* le produit de la réduction du chloroplatinate dans un courant lent d'hydrogène pur et sec, et j'ai entraîné de cette manière l'acide chlorhydrique retenu opiniâtrément par le chlorure alcalin. Lors des trois opérations que j'ai faites, la totalité du chloroplatinate mis en expérience a été réduite.

La masse a été reprise et épuisée par de l'eau pure, fraîche. La solution

[1] Depuis l'exécution de ces recherches et la rédaction de cette notice, M. Matthey, de Londres, m'a envoyé, pour examen, une *mousse très brillante* de platine, obtenue par *volatilisation*, lors de la fusion très en grand de ce métal, au gaz oxycarbohydrique, dans une cavité de chaux. Cette mousse, par son exposition à l'air humide, s'est fortement ternie, en se couvrant d'hydrocarbonate de calcium. Après avoir séparé l'hydrocarbonate calcique par l'acide chlorhydrique dilué, le platine isolé était complètement terne et d'un gris bleuâtre. Il est probable que la mousse brillante, plus blanche que le platine, était constituée par un alliage de calcium et de platine.

Digitized by Google

de chlorure de potassium saturée ou diluée était *incolore*, ce qui n'est jamais le cas lorsque tout le chloroplatinate n'est pas réduit. Cette solution, après filtration au travers de papier lavé successivement aux acides fluorhydrique et chlorhydrique dilués et à l'eau pure, et évaporation dans le platine, sous une cloche à douille, a donné un résidu salin, blanc, qui, fondu dans un creuset de platine couvert, a fourni un liquide privé de toute trace de platine en suspension. *Ce liquide, coulé dans un vase de platine, a donné un culot* LIMPIDE *et* INCOLORE.

Une partie des trois chlorures fondus, dissoute dans l'eau, a fourni une solution d'une *limpidité* parfaite, *neutre* au tournesol et à la phénolphtaléine. Cette solution a coloré en *bleu violacé* la flamme de l'hydrogène. L'analyse prismatique de la flamme a permis de reconnaître pour les *trois chlorures*, en même temps que le spectre potassique, la raie sodique plus prononcée que dans le même hydrogène brûlant dans l'air. Comme contrôle, j'ai répandu, dans la flamme de l'hydrogène, du chlorure du chlorate employé pour la préparation du chloroplatinate, et la comparaison m'a conduit au même résultat.

J'ai constaté l'*identité* du spectre des *trois* chlorures retirés des chlorosels platiniques et, *sauf les traces de la raie sodique, leur identité avec le spectre du chlorure qui a servi à la préparation des chloroplatinates*.

Le long et délicat travail auquel je me suis livré, en disposant *de grands et coûteux appareils de platine qui m'ont été généreusement prêtés*, confirme donc le résultat de mes recherches antérieures sur l'homogénéité du chlorure potassique provenant du chloroplatinate, et prouve encore mon impuissance à obtenir par cette voie un chlorure ne donnant point la raie sodique.

A l'aide du procédé exposé dans une notice précédente, j'ai évaporé successivement sur une plaque concave de platine pur *cinq* grammes du chlorure obtenu en *premier* et en *dernier* lieu, et *dix* grammes du chlorure fourni par les chloroplatinates produits lors de la *deuxième* et de la *troisième* précipitation. Ces trois masses de chlorure se sont volatilisées sans laisser sur le platine une trace de résidu visible au microscope.

Sauf les traces impondérables de sodium amenées par le chlorure platinique, ces trois parties constituent donc la matière qui s'unit au chlorure

Digitized by Google

platinique, et leur rapport proportionnel avec l'argent doit être le rapport vrai de ce métal avec le chlorure de potassium envisagé comme substance spécifique, si, ce qui est probable, sinon certain, *d'après l'identité des spectres*, les résultats fournis par l'expérience sont identiques entre eux et identiques entre les chlorures du chlorate et du perchlorate de potassium. Dans une notice spéciale, j'expose les recherches que j'ai entreprises pour élucider ces différentes questions.

Du mode de recherche de la présence ou de l'absence du chlore dans l'oxygène dégagé lors de la dissociation du chlorate et du perchlorate de potassium par l'action de la chaleur.

La recherche de la présence ou de l'absence du chlore dans l'oxygène dégagé lors du dédoublement du chlorate et du perchlorate de potassium, est une opération des plus délicates à effectuer. En effet, l'oxygène dégagé est toujours nuageux, il renferme constamment du chlorate, du perchlorate et du chlorure de potassium entraînés. De plus, il possède l'odeur de l'ozone qui peut induire en erreur. Je n'ai réussi dans ma tentative qu'en opérant dans une cornue de platine purifié et parfaitement poli. Lorsqu'on décompose le chlorate ou le perchlorate dans une cornue de verre, même réfractaire, il y a toujours présence de chlore. Pour dépouiller complètement l'oxygène des composés potassiques qui le rendent nuageux, j'ai eu recours à l'amiante feutré, tel que je l'ai employé lors de la détermination de l'oxygène du chlorate en décomposant ce sel par la chaleur [1].

Voici les dispositions de l'appareil qui m'a servi : j'ai engagé, aussi avant que possible, le long col de la cornue de platine renfermant le sel potassique à dédoubler, préalablement fondu, dans un large tube de verre, long de 50 centimètres. Au bout opposé de ce tube était soudé un tube de 5 millimètres de diamètre intérieur et recourbé à angle légèrement obtus; à ce bout se trouvait un cylindre, à peu près du diamètre du large tube, de

[1] *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* (BULLETINS DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE, 2e sér., t. X, p. 109).

Digitized by Google

ponce calcinée après avoir été humectée d'acide sulfurique concentré. Au-dessus de ce cylindre de ponce était disposée une colonne de 25 centimètres de longueur d'amiante feutré, fortement chauffé, convenablement tassé pour laisser filtrer librement l'oxygène, tout en arrêtant la poussière saline.

Le tube courbé, soudé au gros tube dans lequel le col de la cornue de platine était engagé, était fixé dans une des deux tubulures d'un bouchon en verre de 8 centimètres de diamètre, rodé à l'émeri sur un flacon de verre contenant un vase de platine rempli au tiers d'eau *saturée* d'ammoniaque absolument pure. Ce tube descendait très près de la surface de l'ammoniaque liquide.

A l'autre tubulure du bouchon était adapté un tube courbé à angle aigu, mis en communication, à l'aide d'un petit tube en caoutchouc, avec un appareil de Liebig contenant une quantité convenable d'eau pure. Le bout libre du tube de Liebig était relié à une trompe à eau servant d'aspirateur, qu'on pouvait faire fonctionner aussi lentement ou aussi rapidement qu'on le voulait.

Comme le col de la cornue de platine, en pénétrant très avant dans le large tube long de 50 centimètres, ne bouchait pas complètement l'ouverture de celui-ci, l'atmosphère intérieure pouvait s'échapper et l'air extérieur pouvait pénétrer dans le système suivant que la tension interne l'emportait sur la tension externe et réciproquement.

Pendant l'expérience, j'ai réglé l'aspiration de manière à laisser constamment *un excès de pression à l'intérieur de l'appareil.* Pour réaliser ce résultat, je me suis constamment guidé d'après l'odeur d'ozone qui se produit à l'endroit où le col de la corne de platine s'arrête dans l'ouverture du tube; on observe même un dégagement de fumée saline à cet endroit lorsque la dissociation du sel potassique s'effectue trop rapidement pour la quantité de gaz aspiré au travers du système d'appareil.

Je me suis cru obligé de recourir aux dispositions décrites ci-dessus et notamment à l'emploi d'un vase de platine pour contenir la solution concentrée d'ammoniaque pure, par le motif qu'il est impossible de laisser séjourner cette solution dans un vase de verre ordinaire sans attaquer la substance et dissoudre sensiblement ses éléments constitutifs.

Digitized by Google

En effet, si l'on évapore dans un vase de platine une solution concentrée d'ammoniaque qui a séjourné quelques heures *dans un vase à précipiter*, on obtient un résidu blanc, fortement alcalin, formé de silicate de calcium et de sodium, et lorsque l'ammoniaque dissoute contient de très faibles quantités de chlorure d'ammonium, celui-ci est décomposé au point que le résidu blanc n'en renferme plus de traces et que son chlore y existe à l'état de chlorure de calcium et de sodium.

En dissociant par une chaleur constamment ménagée, dans l'appareil que je viens de décrire, le chlorate et le perchlorate de potassium, on observe des faits différents suivant que ces sels sont absolument purs ou contiennent du fer, du manganèse, du cuivre, de la silice ou des silicates.

Ces sels renferment-ils les impuretés indiquées ci-dessus, comme c'est le cas pour le chlorate obtenu par de simples cristallisations successives dans l'eau pure, dès que la température du chlorate fondu est assez élevée pour que la cornue de platine fasse entendre le chant qui accompagne toujours la dissociation du sel et le dégagement d'oxygène, le gaz aspiré, en pénétrant dans l'atmosphère ammoniacale, produit, *du commencement jusqu'à la fin de la décomposition, des* FUMÉES BLANCHES dont une partie seulement se dissout dans l'ammoniaque contenue dans le vase de platine; le reste est entraîné par le courant au travers de l'appareil de Liebig pour ne se dissoudre que partiellement dans l'eau qu'il renferme.

En évaporant au bain-marie dans le vase de platine couvert, l'ammoniaque à la surface de laquelle l'oxygène entraîné a passé, il reste un résidu blanc, entièrement *volatil* à basse température et présentant *toutes les propriétés du chlorure d'ammonium.*

L'eau du lavage du gaz entraîné, saturée d'acide azotique, se trouble par l'addition de quelques gouttes de solution décime d'azotate d'argent.

Ainsi que je l'ai établi dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques,* point de doute sur l'existence du chlore dans l'oxygène qui se produit lors de la dissociation du chlorate de potassium contenant les impuretés du sel obtenu par des cristallisations successives dans l'eau pure. Le dégagement de chlorure se manifestant jusqu'à la fin de l'opération, il suit nécessairement de ce fait que la décomposition du perchlorate formé

Digitized by Google

lors de la dissociation du chlorate s'effectue également avec mise en liberté de chlore. J'ai d'ailleurs constaté que du perchlorate de potassium silicifère fournit, lors de sa décomposition par la chaleur, de l'oxygène mêlé de traces de chlore. Les faits se présentent tout autrement en substituant du chlorate et du perchlorate *purs* au chlorate, même simplement silicifère.

Dès que, par l'application de la chaleur, le chlorate *pur* se dissocie, soit lentement, soit plus ou moins rapidement, l'oxygène aspiré au travers de la colonne d'amiante feutré, en venant en contact de l'ammoniaque, produit tout au plus *un très léger brouillard* provenant probablement de l'action de l'ozone contenu dans l'oxygène sur l'ammoniaque, qui, d'après Carius, produit de l'azotite d'ammonium, mais jamais de fumée comme celle qu'on observe lorsque du chlore répandu dans l'oxygène vient en présence de l'ammoniaque gazeuse.

A moins que l'aspiration ne s'effectue avec rapidité, l'oxygène arrive tout à fait transparent dans l'appareil de Liebig et le traverse sans y produire le moindre brouillard.

J'ai évaporé au bain-marie dans le vase de platine, préalablement couvert d'une feuille du même métal, l'ammoniaque à la surface de laquelle avait passé l'oxygène provenant de la dissociation de 1° 60 grammes; 2° 100 grammes; 3° 150 grammes de chlorate de potassium pur; 4° 57 grammes de perchlorate de potassium pur. J'ai effectué la décomposition du perchlorate pur dans les mêmes conditions que la dissociation du chlorate, à la demande qui m'en a été faite par M. Berthelot. Lors de chacun des quatre essais, l'évaporation s'est accomplie sans laisser le moindre résidu. Les parois du vase de platine, lavées à l'eau pure, ont fourni dans chaque essai un liquide neutre au tournesol et qui est resté absolument limpide après l'addition de cinq gouttes de solution décime d'azotate d'argent et s'est conservé *limpide* et *incolore* par son exposition à la lumière solaire directe, phénomène que l'on n'observe qu'en tant que la liqueur ne contienne pas trace de chlorure d'argent.

L'eau contenue dans l'appareil de Liebig, au travers de laquelle avait passé l'oxygène, neutralisée par l'acide azotique et additionnée ensuite d'azotate d'argent, est restée absolument limpide dans chacun des quatre

Digitized by Google

essais et a conservé sa limpidité et est restée incolore après une longue exposition à la lumière solaire directe.

Il est donc démontré que dans un vase de platine *pur* et *poli*, le chlorate et le perchlorate de potassium PURS peuvent être dissociés sans que trace de chlore devienne libre. J'ai reconnu de plus que le chlorure de potassium formé en même temps est *absolument neutre* aux réactifs colorés. Ces deux faits que j'ai été impuissant à réaliser il y a plus d'un tiers de siècle, prouvent l'invariabilité de rapport en poids du chlore et du potassium dans le chlorate, le perchlorate et le chlorure de potassium, et confirment pleinement les conclusions que j'ai déduites de l'action exercée par l'acide sulfureux sur les chlorate, bromate et iodate d'argent produits dans les conditions normales de leur formation. C'est l'espoir de pouvoir démontrer l'exactitude de la loi des proportions définies sans recourir à l'intervention de l'action chimique et d'un agent pondérable qui m'a déterminé à consacrer beaucoup de temps et des soins fastidieux à m'assurer si, oui ou non, le chlorate et le perchlorate peuvent, *à l'aide de la chaleur seule*, être transformés en chlorure sans mise en liberté de trace pondérable de chlore.

Étude spectroscopique du potassium. — Caractères imprimés aux flammes par les composés du potassium.

Spectre lumineux du potassium. — Les chimistes admettent que les composés de potassium colorent en *bleu pourpré* l'enveloppe externe de la flamme bleu foncé pur d'un brûleur de Bunsen bien construit. Je suis obligé de dire qu'à ma grande surprise, j'ai constaté que le *chlorate* et le *perchlorate* de potassium, dont j'avais éliminé tous les composés fixes et le sodium, introduits au bout d'une boucle ou d'une spirale en fil fin de platine dans les parties périphériques de cette flamme, y impriment une coloration d'un bleu *pâle* ou d'*azur*, et le *chlorure* de potassium, une coloration d'un bleu *foncé*. Ces colorations s'observent de même dans la flamme de l'hydrogène pur et dans le dard d'un chalumeau aérhydrique, oxyhydrique ou oxycarbohydrique.

Des expériences répétées avec les plus grands soins, en me servant de composés potassiques les plus purs, m'ont fait constater que la coloration

Digitized by Google

bleue est d'autant plus forte que la masse de potassium est plus *grande,* à température égale, et d'autant plus *faible* qu'à masse égale la température est plus élevée. Au delà du point de fusion du platine, la coloration du dard oxhydrique potassifère est d'un bleu excessivement pâle; sa teinte n'atteint pas celle de l'hydrogène rendu incandescent; aussi est-il permis de se demander si la vapeur des composés de potassium, portée à la température la plus élevée, celle de la fusion de l'iridium, est encore colorée.

L'analyse prismatique des *flammes* potassifères colorées en bleu d'azur ou en bleu foncé fournit le spectre des composés du potassium, tel qu'il a été décrit et figuré par M. Lecoq de Boisbaudran, en 1874, et en 1875 par M. Bunsen, dans son mémoire : *Spectral - analytische Untersuchungen,* c'est-à-dire qu'il est formé d'une raie *rouge,* d'une bande d'un *rouge pâle* et d'une raie *pourprée* d'une faible intensité colorante. On constate en même temps *l'absence de la raie sodique* D.

Quoique j'aie observé l'apparition de la bande rouge pâle signalée par MM. Bunsen et Lecoq de Boisbaudran comme appartenant au potassium, je dois exprimer toutefois un doute relatif à l'origine de cette bande. En effet, en opérant l'analyse prismatique de la flamme de l'hydrogène potassifère, portée à une température à laquelle le gaz ne fournit pas encore de *spectre continu,* en se mettant complètement à l'abri des radiations du support et en se servant d'une fente suffisamment étroite, l'espace spectral se compose d'*une bande absolument obscure,* dans laquelle on aperçoit exclusivement la raie *rouge* $21^d,5$ du micromètre du spectroscope Steinheil, $17^d,4$ du micromètre du spectroscope de M. Bunsen, et la raie *pourprée* $140^d,50$ du micromètre du spectroscope Steinheil, $153^d,5$ du micromètre du spectroscope de M. Bunsen.

Quelle que soit l'étroitesse de la fente du collimateur, lorsqu'on effectue l'analyse prismatique de la flamme de l'hydrogène porté à l'incandescence et dans laquelle on a volatilisé un composé potassique, l'espace spectral est formé d'un *spectre continu,* sillonné de la raie rouge $21^d,5$ du spectroscope Steinheil, $17^d,4$ du spectroscope de M. Bunsen, et de la raie pourprée $141^d,50$ du spectroscope Steinheil, $153^d,5$ du spectroscope de M. Bunsen. *Dans les deux cas, j'ai constaté l'absence de la bande rouge et de la raie sodique.*

Digitized by Google

Pendant les mois de novembre et décembre 1878, le mois de décembre 1880, les mois de novembre et décembre 1882 et 1883, j'ai pu constater la coloration *bleu pâle* de la flamme du chlorate et du perchlorate potassiques purs, et l'absence complète de la bande rouge pâle et de la raie sodique dans le spectre potassique. M. Rommelaere, qui m'a assisté dans ces travaux, a reconnu les mêmes faits.

Pour réaliser la double condition, la coloration bleu pâle de la flamme et l'absence de la raie sodique, il faut :

1° Une grande pureté de l'air;

2° Les composés de potassium à l'instant même de l'achèvement de leur préparation.

La méthode qui m'a le mieux réussi consiste à plonger la boucle en fil fin de platine, couvert complètement d'iridium, préalablement rougie à blanc pour chasser le sodium apporté par l'air, dans une solution saturée et bouillante du composé potassique, préparé à l'abri des poussières de l'air, et à porter immédiatement cette boucle dans la partie extérieure de la flamme ou du dard oxhydrique avec excès d'hydrogène.

Si on laisse les sels adhérents à la boucle de platine, ou à l'état de masse sous une cloche en contact de l'air, au bout de peu d'heures, et quelquefois au bout d'une demi-heure, ils donnent à l'analyse prismatique des signes non équivoques de la présence du sodium qu'ils ont emprunté à l'air, et ils colorent les flammes en *bleu pourpré*. Du chlorate, du perchlorate et du chlorure de potassium, complètement privés de sodium au moment de leur préparation, introduits dans des flacons bouchés à l'émeri, ouverts de temps à autre, et conservés pendant six mois dans une armoire fermée, ont donné à l'analyse spectrale la raie sodique avec autant d'intensité que le chlorate, le perchlorate, l'azotate et le tartrate monopotassique, purifiés par dix cristallisations successives à l'abri des poussières de l'air, et ont coloré en bleu pourpré la flamme de l'hydrogène. ***La fixation du sodium de l'air sur les composés de potassium est suffisante pour leur permettre de colorer sensiblement la flamme en jaune si le contact a été assez prolongé.***

Il est donc des sels de potassium comme du platine, de l'argent, du charbon, etc., qui enlèvent du sodium à l'air. Les expériences que je fais connaître

Digitized by Google

plus loin démontrent qu'il en est ainsi de tous les corps sur lesquels ont porté mes investigations.

Lorsqu'on essaye de reproduire les phénomènes que je viens d'exposer dans de l'air contaminé par la présence de poussières minérales et organiques en suspension, comme c'est presque toujours le cas pour les lieux où l'on se livre au travail, l'introduction des composés de potassium les plus purs imprime aux flammes une coloration variable, qui est souvent d'un jaune verdâtre en commençant, pour devenir fortement violacée au bout de peu d'instants, et se maintient dans cet état jusqu'à la disparition complète du sel potassique. Dans ce cas, on aperçoit *toujours* la raie sodique et *souvent* un spectre calcique *incomplet*, à côté des raies caractéristiques du potassium. Le spectre calcique est plus prononcé lorsqu'on amène dans la flamme potassique de l'hydrogène chargé d'acide chlorhydrique par son passage au travers d'une solution saturée de cet acide.

La coloration imprimée par les composés de potassium à la flamme du gaz de l'éclairage ou de l'hydrogène pur, brûlant dans un excès d'air, est donc ou bleu pâle, ou bleu foncé, ou bleu violacé, suivant les conditions dans lesquelles l'air et les composés potassiques se trouvent.

J'ai dit plus haut que ces composés les plus purs, conservés pendant un certain temps en vase de verre fermé, bouché à l'émeri, mais ouvert de temps à autre, donnent des signes non équivoques de la présence du sodium. Je dois ajouter que, dans ce cas, ils communiquent à la flamme la coloration violette, regardée par tous les chimistes comme caractère distinctif des composés potassiques. J'ai cherché à me rendre compte de cette différence de coloration. Ayant constaté un grand nombre de fois la formation d'un spectre calcique incomplet lors de la production de la flamme violette, j'ai cru un moment que cette coloration était due à la présence de traces de calcium dans le composé potassique employé; en effet, l'élimination complète du calcium est d'une grande difficulté. Mais j'ai reconnu bientôt mon impuissance à trouver le spectre calcique, ou l'une des raies caractéristiques de ce métal, dans le spectre des flammes violettes contenant un composé de potassium donné. J'ai volatilisé un jour *cinq grammes* du chlorure de potassium du perchlorate pur, dans le dard du chalumeau oxhydrique; après quelques

Digitized by Google

secondes, la flamme, colorée d'abord en bleu foncé, puis en bleu d'azur, était d'un violet intense. Pendant les quelques minutes qu'a duré la volatilisation, j'ai suivi de l'œil le spectre potassique produit, et quoique j'eusse poussé en premier lieu la température jusqu'à fondre par places la feuille de platine concave, et en second lieu à me servir de la *coupelle d'iridium pur contenant un cône creux de ce métal chauffé près de son point de fusion*, il m'a été impossible d'apercevoir un seul instant le spectre calcique, pas même l'une quelconque de ses raies caractéristiques, dans le spectre potassique fortement illuminé.

Une partie du même chlorure de potassium du perchlorate volatilisé plusieurs mois plus tard dans le dard oxhydrique, a coloré du commencement à la fin de l'opération la flamme en bleu, et la coloration a été d'autant plus faible que la température a été plus élevée; cette coloration n'a jamais dépassé la teinte azurée qu'offrait au même moment le dard oxhydrique privé de toute trace de vapeur potassique. Grâce à la pureté exceptionnelle de l'air à cet instant, j'ai pu répéter à deux reprises ces essais, et le résultat a été le même.

A moins que les radiations potassiques n'éteignent de faibles radiations calciques, ce qui n'est pas impossible d'après les faits analogues observés, je ne puis donc attribuer qu'au sodium apporté par l'air en mouvement la différence de coloration imprimée à une *même* flamme par le *même* chlorure.

Je livre les faits tels qu'ils résultent de mes observations suffisamment contrôlées par moi-même et par d'autres personnes qui en ont été témoins.

Quoi qu'il en soit du fait et de la cause de la différence de coloration des flammes par les composés potassiques purs, la question dont la solution a été le but de mes études chimiques et spectroscopiques au sujet du potassium n'est pas douteuse. J'ai reconnu avec certitude qu'il est possible de se procurer des composés potassiques qui, répandus convenablement dans les *flammes,* ne donnent aucun indice de la double raie D, caractéristique de la présence du sodium, et cela aux températures les plus élevées de la combustion de l'hydrogène ou du gaz de l'éclairage dans l'oxygène pur. On n'aperçoit la double raie D, dans le spectre potassique, que lorsque l'air, ou le composé soumis à l'expérimentation, contient du sodium à l'état d'impureté, comme

Digitized by Google

c'est le cas de l'azotate de potassium que je ne suis pas parvenu à obtenir sans trace infinitésimale de sodium, et colorant en bleu pâle, légèrement violacé, la flamme de l'hydrogène.

Mes recherches m'autorisent à affirmer ces faits d'une manière positive, formelle.

Le spectre de flamme du CHLORATE, *du* PERCHLORATE, *du* CHLORURE *du* CHLORATE, *du chlorure du* PERCHLORATE, *du chlorure du* CHLOROPLATINATE de potassium est *identique;* il se compose d'un espace *obscur* ou *illuminé* d'un spectre *continu*, sillonnés l'un et l'autre de *deux* raies, suivant que l'analyse prismatique est effectuée sur une flamme potassifère dans laquelle l'hydrogène n'est pas ou est porté à l'incandescence. Dans ce dernier cas, l'illumination de l'espace spectral est *partielle* ou *totale*, suivant que l'introduction du composé et l'analyse prismatique se font en dehors ou en dedans du cône interne du dard oxhydrique ou oxycarbohydrique.

Le potassium se conduit donc comme une substance distincte du sodium; il est irréductible en sodium par la chaleur. Je n'insiste pas davantage sur cette conclusion; elle est évidente pour les conditions dans lesquelles on peut, *actuellement*, exécuter les recherches.

CHAPITRE IV.

Recherches chimiques sur le carbonate, le sulfate et le chlorure de lithium.

En reprenant mes recherches sur le lithium, j'ai eu principalement en vue de m'assurer si le carbonate de ce métal, préparé par des voies différentes, peut être amené à un état toujours identique à lui-même. Ces recherches m'ont permis de constater que le moyen indiqué pour la première fois par M. L. Troost, et qui consiste à dissoudre le carbonate de lithium dans de l'eau chargée d'anhydrique carbonique, pour éliminer la majeure partie du sodium conduit le plus rapidement au but, et que l'emploi du carbonate

Digitized by Google

ammoniacal d'ammonium pour précipiter ce composé de lithium est le seul à conseiller. J'ai reconnu toutefois que la précipitation des sels de lithium par le carbonate d'ammonium doit s'exécuter dans le platine. Si l'on opère dans le verre, ainsi que je l'ai pratiqué autrefois par *erreur,* on introduit, dans le carbonate précipité, de la silice, de la chaux et du sodium empruntés au verre. En effet, en présence du carbonate ammoniacal d'ammonium le verre est rapidement attaqué. J'ai trouvé que, pendant le temps nécessaire pour porter de 15 à 100° un demi-litre d'eau très légèrement ammoniacale, un vase à précipiter en verre de Bohême perd $0^{gr},023$ de son poids et que, dans ce cas, il se fixe $0^{gr},011$ de silice sur de l'hydrate ferrique qui s'est formé au sein de cette eau ammoniacale [1].

Ces recherches m'ont permis de constater aussi que l'oxalate d'ammonium ne précipite pas complètement le calcium contenu dans une solution concentrée d'azotate de lithium, enfin que le sulfate d'ammonium est impuissant pour éliminer de cet azotate un sel et l'hydrate de baryum en dissolution.

Enfin, fait plus inattendu, l'alcool anhydre, mêlé de deux fois son volume d'éther, dissout du sel de baryum resté dans l'azotate de lithium fondu, ou en solution, grâce à la présence du sulfate d'ammonium.

Après avoir reconnu ces faits, j'ai dû en tenir compte pour la préparation du carbonate de lithium, qui a été répétée à deux reprises différentes par M. Rommelaere, en opérant chaque fois sur 500 grammes de carbonate de lithine du commerce.

Je vais exposer d'abord le procédé tel qu'il a été suivi primitivement, et j'indiquerai ensuite les modifications que j'ai jugé nécessaire de lui faire subir.

[1] Je me suis assuré de ces faits en dissolvant $0^{gr},100$ de fer pur dans l'eau régale et en versant ensuite la solution dans de l'eau ammoniacale portée près de son point d'ébullition dans un vase de verre. L'hydrate ferrique précipité a été reçu sur un filtre qui avait été lavé à l'aide d'un mélange d'acides fluorhydrique et chlorhydrique aqueux, ensuite à l'eau. Le filtre séché a été incinéré et l'oxyde ferrique a été introduit dans une nacelle de platine lavée contenue dans une nacelle de charbon, laquelle a été soumise, dans un tube de porcelaine, au rouge sombre, à un courant lent d'acide chlorhydrique. La volatilisation de l'oxyde ferrique a laissé $0^{gr},011$ de silice parfaitement blanche, renfermant des traces de chaux, mais entièrement soluble dans les acides fluorhydrique et chlorhydrique étendus.

Digitized by Google

Le carbonate, suspendu dans cinq fois son poids d'eau, a été dissous dans de l'acide azotique de manière à obtenir une dissolution d'azotate et de carbonate de lithium. La solution contenue dans un grand flacon bouché à l'éméri a été saturée d'acide sulfhydrique, puis abandonnée vingt-quatre heures à elle-même. Après s'être éclaircie et décolorée, elle a été filtrée et reçue dans un grand ballon, et le liquide limpide a été porté et maintenu quelque temps à l'ébullition pour éliminer les carbonates de lithium et de magnésium. La solution d'azotate éclaircie par le repos, et filtrée, a reçu successivement un excès d'oxalate d'ammonium pur, pour précipiter le calcium, et, après repos jusqu'à limpidité du liquide et filtration, un excès d'eau de barite pour éliminer le restant de magnésium; enfin, après un nouveau repos et une nouvelle filtration, un *excès* de sulfate d'ammonium pour précipiter le baryum.

Le liquide tenant du sulfate de baryum en suspension, quoique ayant été porté à l'ébullition, ne passant pas limpide au travers d'un double filtre de papier, a été abandonné à l'éclaircissement spontané, qui a été fort long à se réaliser. Étant devenu limpide, il a été décanté, filtré et évaporé jusqu'à siccité dans une capsule de porcelaine, l'azotate a été fondu et coulé dans une capsule de platine. La masse incolore, à réaction alcaline, a été concassée immédiatement, introduite dans un flacon bouché à l'éméri et reprise par la plus petite quantité possible d'alcool anhydre pour dissoudre l'azotate de lithium. Cette solution a été additionnée d'éther anhydre jusqu'au point d'en précipiter une petite partie du sel lithique et abandonnée ensuite à l'éclaircissement spontané. Ce fait s'étant produit, le flacon a été placé dans un mélange réfrigérant de sel marin et de glace. Le liquide y contenu s'est troublé très légèrement et le flacon a été maintenu à basse température jusqu'à ce que le liquide fût devenu complètement limpide; celui-ci a été soigneusement décanté, filtré et évaporé à presque siccité dans un ballon de verre. L'azotate a été repris par la plus petite quantité possible d'eau et la solution a été précipitée par un excès d'ammoniaque concentré, saturé de sesquicarbonate d'ammonium.

Le ballon a été placé dans un bain et chauffé jusqu'à dégagement abondant de gaz ammoniaque. Lorsque le carbonate de lithium, de gélatineux

Digitized by Google

qu'il était, fut devenu grenu, le tout a été versé dans un entonnoir muni d'un tampon de toile purifié. L'élimination de l'eau mère, le lavage à l'eau contenant du carbonate biammonique, puis à l'eau pure, ont été effectués à la trompe.

Le carbonate de lithium fut repris par de l'acide azotique, et la solution d'azotate, qui était absolument *limpide,* fut précipitée une deuxième fois par le carbonate ammoniacal d'ammonium. On procéda à la séparation de l'eau mère et au lavage du carbonate de lithium, comme il est dit ci-dessus. Enfin on répéta une troisième fois toutes les opérations.

Le carbonate de lithium ainsi produit, introduit à l'aide d'une boucle en fil de platine dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, donna un spectre sodique relativement intense, ainsi que la raie d'un rouge brun du lithium, *mais aucune autre raie.*

Comme contrôle, on volatilisa sur une feuille de platine, dans le dard *oxhydrique,* une notable quantité du même carbonate.

Lorsque la *majeure quantité* du lithium fut évaporée et que la température fut amenée au point de fusion du platine, on vit s'ajouter aux trois raies du spectre lithique les raies brunes et vertes du spectre calcique et les raies brunes et vertes barytiques.

L'essai fut répété à plusieurs reprises et toujours avec le même résultat. Point de doute, la solution d'azotate de lithium dans *l'alcool éthéré anhydre,* produite comme je viens de l'exposer, contenait, outre le sodium, du baryum et du calcium.

On chauffa de manière à volatiliser complètement les oxydes de lithium, de baryum et de calcium, et il resta un résidu *excessivement* faible de silicate de baryum et de calcium, fusible et fixe, couvrant d'un mince vernis blanc la surface de platine qui avait été mouillée par l'oxyde de lithium.

Une nouvelle préparation, effectuée par M. Rommelaere avec tous les soins possibles mais dans les mêmes conditions, donna identiquement les mêmes résultats.

Le traitement que j'ai institué il y a vingt-cinq années pour me procurer du carbonate de lithium n'en a fourni de pur que grâce aux redissolutions successives que j'en ai faites dans l'eau chargée d'anhydride carbonique dans

Digitized by Google

le but de me débarrasser du sodium. Le baryum et le calcium sont restés dans la partie non dissoute du carbonate de lithium.

La nécessité d'éliminer le baryum et le calcium, ainsi que la silice, et d'empêcher l'attaque des vases de verre par le carbonate ammoniacal d'ammonium, qui a pour conséquence l'introduction du silicium, du calcium et du sodium, m'a engagé à faire subir au carbonate de lithium purifié, comme je viens de le dire, le traitement suivant : ce sel a été dissous dans de l'acide sulfurique distillé dans le platine et dilué d'eau. La dissolution a été évaporée à siccité dans la cornue de platine et le sulfate fondu, pour éliminer l'excès d'acide sulfurique et rendre la silice insoluble. Le sulfate de lithium refroidi était translucide et présentait des points blancs. Repris par de l'eau, il a fourni une solution légèrement trouble qui a été abandonnée dans le platine à l'éclaircissement spontané. Par surcroît de précaution, elle a été filtrée au travers d'un double filtre traité préalablement à l'eau acidulée par les acides fluorhydrique et chlorhydrique, puis lavée à l'eau pure et reçue dans un grand vase de platine, où elle a été additionnée d'alcool à 80 centièmes jusqu'à précipitation d'une quantité notable de sulfate de lithium, du reste peu soluble dans l'alcool [1]. Le liquide surnageant a été abandonné, sous une cloche, à l'éclaircissement spontané, ce qui a été lent à se réaliser, puis filtré encore et enfin chauffé dans la cornue de platine pour volatiliser l'alcool. J'ai précipité ensuite dans le platine même le sulfate de lithium par du carbonate ammoniacal d'ammonium préparé dans un vase de platine en se servant du tube en caoutchouc pour amener l'ammoniaque et l'anhydride carbonique dans l'eau. Après avoir chauffé longtemps le précipité gélatineux de carbonate de lithium, afin de le rendre grenu (condition dans laquelle une partie du sulfate décomposé se reforme, mais qui est indispensable pour rendre possible le lavage du précipité), on a décanté l'eau mère, on a soutiré par aspiration ce qu'on a pu, et, en suivant le précepte de Berzelius, on a procédé à la séparation du sulfate et du carbonate ammoniacal d'ammonium, en lavant le précipité par de l'alcool assez aqueux pour ne pas troubler l'eau mère. Berzelius conseille l'alcool à 99 centièmes pour laver le

[1] Je me suis assuré que le sulfite de lithium précipité était mélangé d'une *très petite* quantité de sulfate de baryum et de calcium.

Digitized by Google

carbonate précipité du chlorure; il a fallu se servir d'alcool à 60 centièmes, qui dissout très sensiblement le carbonate, pour ne pas rendre insoluble le sulfate double de lithium et d'ammonium adhérent au précipité; après que le lavage par l'alcool aqueux eut enlevé tout le carbonate ammoniacal d'ammonium, on a introduit le précipité dans un entonnoir muni d'un tampon de toile purifiée, en communication avec une trompe à eau et on a continué le lavage à l'alcool aqueux tant que le liquide eût troublé une solution acide d'acétate de baryum, ce qui a été fort long à se réaliser et a entraîné la solution d'une notable quantité de carbonate de lithium. Quand ce résultat a été obtenu, j'ai porté une partie du précipité dans la flamme de l'hydrogène, la raie sodique a apparu très faiblement. Je n'ai aperçu que les raies rouge et orangée du lithium. J'ai chauffé ensuite une partie du même carbonate sur une feuille de platine au dard du chalumeau oxhydrique; il s'est volatilisé *complètement*. Aucune trace du spectre calcique ne s'est montrée; il y a eu doute au sujet d'une très faible lueur de spectre barytique.

La masse de carbonate de lithium, dont le poids dépassait 200 grammes, a été divisée en deux parties, A et B.

La moitié A a été dissoute dans de l'acide sulfurique dilué pur; la solution a été évaporée à siccité dans la cornue de platine, et le sulfate a été fondu. Le sel a été traité ensuite comme je l'ai dit ci-dessus pour le sulfate obtenu en premier lieu, et le carbonate qui en est provenu, après un lavage convenable à l'alcool aqueux, s'est volatilisé *en entier* dans le dard oxhydrique sans qu'il ait été possible de constater par l'analyse prismatique l'apparition la plus fugitive des spectres calcique ou barytique. *C'est une partie de ce carbonate qui a servi à caractériser le spectre lumineux de l'oxyde de lithium.*

La moitié B du carbonate de lithium a été chauffée près de son point de fusion dans un creuset de platine couvert. Ce sel a été suspendu ensuite dans de l'eau contenue dans la cucurbite de la cornue en platine et traversée par un courant d'anhydride carbonique pur. Lorsqu'une petite partie du carbonate fut entrée en dissolution, on a interrompu le courant et on a abandonné le liquide au repos. Après son éclaircissement on décanta le liquide devenu limpide, on soumit le carbonate à un nouveau lavage à l'alcool aqueux. L'eau

Digitized by Google

de lavage fut réunie à la solution de carbonate décantée et le tout fut porté à l'ébullition dans un vase de platine et évaporé aux trois quarts.

Le carbonate de lithium déposé fut écarté; l'eau mère concentrée dans une petite capsule de platine montra une réaction sodique assez forte, mais elle ne troubla nullement une solution acide d'acétate de baryum. Elle était privée d'une quantité de sulfate de sodium ou de lithium susceptible d'être décelée par un sel de baryum.

Après avoir constaté ces faits, on procéda à la dissolution d'une partie du carbonate de lithium resté dans la cucurbite. A cet effet on fit traverser de l'eau contenant le sel en suspension par un courant d'anhydride carbonique, jusqu'à ce qu'elle en fût saturée : on a dissous ainsi successivement les *neuf dixièmes* du carbonate introduit dans la cucurbite. Le liquide devenu limpide par le repos fut porté à l'ébullition, dans un vase de platine couvert, pour chasser l'anhydride carbonique et déterminer le dépôt de carbonate qu'il tenait en dissolution. On a constaté ainsi qu'un litre de liquide saturé dépose de 38 à 39 grammes de carbonate de lithium. On a eu soin d'écarter complètement l'eau mère saturée encore de sel lithique.

Après avoir lavé, à plusieurs reprises, par de l'alcool pur, le carbonate de lithium déposé, on l'a séché et redissous à nouveau dans de l'eau saturée d'anhydrique carbonique en opérant toujours dans le platine.

Le sel déposé, en portant la dissolution à l'ébullition, et lavé encore à l'alcool pur, a servi pour contrôler les résultats fournis par le carbonate retiré du sulfate mais qui n'avait pas été dissous à l'aide de l'anhydride carbonique. Les résultats ont été identiques quant au spectre du lithium; la seule différence trouvée a été que, pour faire disparaitre, sous le dard oxhydrique, la raie sodique D, il faut volatiliser environ la moitié du carbonate précipité directement du sulfate, tandis qu'on ne doit en perdre qu'un tiers en dissolvant, à deux reprises, le même carbonate dans de l'eau chargée d'anhydride carbonique.

A l'aide de l'acide sulfurique distillé dans le platine, j'ai converti en sulfate une partie du carbonate dissous deux fois dans l'anhydride, *et dont j'avais éliminé le sodium à l'aide du dard oxhydrique,* en le transformant en oxyde. C'est ce sulfate que j'ai employé concurremment avec une partie du

Digitized by Google

même sel préparé par M. Bunsen, pour étudier le spectre de ce sel, qui a été trouvé identique à celui de l'oxyde de lithium.

J'ai tenté de préparer, avec l'oxyde du même carbonate de lithium, du chlorure en opérant dans le platine avec de l'acide chlorhydrique gazeux. Quoique j'eusse pris tous les soins nécessaires pour priver le sodium d'oxyde de lithium, le chlorure obtenu a donné, tant dans la flamme du brûleur de Bunsen qu'au dard du chalumeau oxhydrique, la raie sodique, *jusqu'à ce qu'il fût entièrement volatilisé*. Je doute qu'il soit possible de se procurer ce corps, comme toute substance aussi hygrométrique que lui, sans fournir à l'analyse prismatique la raie sodique. J'établirai ce fait à toute évidence en exposant les résultats de mes recherches sur les composés du calcium.

C'est l'impossibilité de préparer du chlorure de lithium ne donnant pas la raie sodique qui m'a déterminé à ne pas me servir de ce composé pour contrôler le spectre du lithium [1].

Étude spectroscopique du lithium. — Caractères imprimés aux flammes, à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques par les composés de lithium.

Spectres lumineux du lithium. — On sait la difficulté qui existe à séparer d'un composé de lithium un sel sodique qui y est mêlé. En effet, les composés lithiques les mieux purifiés, introduits dans la flamme de l'hydrogène ou d'un brûleur de Bunsen, produisent le spectre sodique d'une manière plus prononcée que celui observé dans l'air ambiant ordinaire.

Cette difficulté est telle que MM. Bunsen, Diehl et Troost, dans leurs travaux sur le lithium, se sont arrêtés à cette dernière limite. Lors de mes recherches sur le poids atomique du lithium, je ne suis pas parvenu à aller au delà. Ayant constaté depuis que, dans des conditions données de l'atmo-

[1] Toutes les recherches chimiques sur le carbonate, le sulfate et le chlorure de lithium exposées ci-dessus ont été exécutées au laboratoire de chimie du Musée de l'Industrie à Bruxelles. Lors du transfert de ce laboratoire au Palais du Midi, la collection des composés de lithium, dont le poids dépassait 2 $^1/_2$ kilogrammes, y a été transportée. Dans l'incendie du laboratoire de ce Palais, toute la collection a été perdue.

Digitized by Google

sphère, la flamme d'un brûleur de Bunsen, ou la flamme de l'hydrogène pur, ne fournit aucune trace de spectre sodique, j'ai repris mes travaux et j'ai recherché s'il y a moyen de se procurer un composé de lithium qui, introduit dans une flamme non sodique, ne donne pas davantage le spectre du sodium à quelque température que ce soit.

J'ai reconnu qu'après avoir amené, par le procédé indiqué dans la notice précédente, le *carbonate* de lithium privé de toute matière fixe et notamment de *silice*, à ne plus fournir de spectre sodique d'une manière plus prononcée que celui observé dans l'air du *laboratoire*, il suffisait alors de le chauffer au sein d'un *air pur*, au dard oxhydrique avec grand excès d'hydrogène, de manière à le fondre et à le ramener à l'état d'oxyde de lithium. En portant ensuite, à l'aide du dard oxhydrique, moins riche en hydrogène, le composé lithique à une température suffisamment élevée pour volatiliser en quelques minutes le tiers ou la moitié de la quantité employée, suivant l'état relatif de pureté du carbonate, le spectre du dard ne contient plus trace de la raie sodique. *La méthode repose donc sur l'application simultanée de la chaleur et d'un courant gazeux.*

La séparation complète du sodium étant une opération fort délicate à exécuter, puisqu'elle doit être faite sur le platine et à une température très voisine du point de fusion de ce métal, je dois entrer dans quelques détails sur le moyen que j'ai employé pour effectuer cette séparation et pour constater les phénomènes produits.

J'ai placé au-dessus d'un fort triangle de platine, sur le côté et à la hauteur exacte de la fente du collimateur des spectroscopes, une plaque *concave* en platine pur. Après avoir chauffé à blanc cette plaque, j'y ai déposé une quantité de carbonate de lithium suffisante pour remplir la cavité d'oxyde de lithium fondu.

A l'aide d'un chalumeu en platine fixé à hauteur et dans une inclinaison convenables, j'ai lancé sur le carbonate un dard oxhydrique avec excès d'hydrogène. Le mélange gazeux et la pression étaient au préalable réglés de manière à obtenir une flamme de 20 centimètres de longueur et dont la température du tiers supérieur fût au-dessous de celle à laquelle l'hydrogène devient incandescent, et partant *inférieure au point de fusion du platine.*

Digitized by Google

Sous l'influence de la chaleur, le carbonate fond sans s'altérer. Si on élève alors la température, il entre en ébullition; celle-ci dure tant qu'il y a dégagement d'anhydride carbonique. L'oxyde ou l'hydroxyde de lithium produit ainsi se présente sous la forme d'un liquide incolore, limpide, d'une mobilité extrême, qui mouille le platine et se volatilise complètement si le carbonate est absolument privé de silicate, en laissant intact le platine parfaitement pur.

Pendant que s'effectue le dégagement d'anhydride carbonique, l'analyse prismatique de la flamme colorée en *pourpre,* ou en carmin, permet de reconnaître l'apparition d'un *faible* spectre sodique, mais qui s'affaiblit rapidement pour disparaître entièrement lorsque le *tiers* ou tout au plus la moitié de l'oxyde de lithium s'est volatilisé, et pour ne laisser ensuite que le spectre parfaitement connu du lithium, avec les caractères en rapport avec la température et l'intensité lumineuse, ainsi que je le dirai plus loin.

Lorsqu'on a éliminé du lithium le sodium sur le platine tout à fait pur, le résidu d'oxyde ou d'hydroxyde se présente, après le refroidissement, à l'état d'un verre incolore, transparent, très friable, soluble dans l'eau en produisant une solution d'une limpidité parfaite. La surface du platine sur laquelle la purification a été faite est dans l'état où elle se trouvait avant l'opération. Si on s'est servi de platine ordinaire, contenant du silicium et des métaux étrangers et notamment du fer, du cuivre, de l'iridium, du rhodium, le composé lithique est coloré et laisse un résidu par sa volatilisation opérée à la température voisine de la fusion du platine. Dans ce cas aussi, la surface du platine est altérée, et le métal, traité au préalable à l'acide chlorhydrique dilué et lavé à l'eau, refondu au chalumeau oxhydrique, donne des signes persistants et intenses de la présence du lithium.

Il résulte de mes observations, répétées à des époques différentes, que le produit de la décomposition du carbonate de lithium par le gaz oxhydrique, n'attaque le platine que si l'on opère avec un métal impur, ce qui est constamment le cas avec les vases, feuilles et fils de platine du commerce.

Sous le dard du chalumeau oxycarbohydrique, les phénomènes se passent absolument de la même manière qu'avec le gaz oxhydrique.

Je reviens maintenant au spectre du lithium dans les différentes conditions où je me suis placé. Je répéterai que mon but a été d'abord de recher-

Digitized by Google

cher s'il est possible de produire le spectre lumineux du lithium sans apercevoir en même temps la double raie sodique.

J'ai tenu à profiter du travail considérable que je m'étais imposé pour obtenir du carbonate de lithium d'une pureté exceptionnelle, en vue d'étudier à nouveau le spectre de ce métal. J'avais, du reste, besoin de la connaissance exacte de ce spectre pour m'assurer si, sous l'influence d'une forte augmentation de température, il change, et dans quel cas ce changement s'opère.

Si, immédiatement après la solidification de l'oxyde de lithium privé complètement de sodium, on le porte, à l'aide d'une boucle en fil fin de platine, dans la flamme *obscure* de l'hydrogène pur, on constate que cette flamme se colore en pourpre très foncé et on aperçoit à l'analyse prismatique une forte raie *brune* 33^d à 34^d du spectroscope Steinheil, $31^d,5$ à $32^d,5$ du spectroscope de M. Bunsen, et une raie orangée d'une très faible intensité colorante $45^d,50$ du spectroscope Steinheil et $45^d,0$ du spectroscope de M. Bunsen. On peut volatiliser complètement cet oxyde de lithium dans une flamme longue ou courte d'hydrogène, introduire l'oxyde sur le devant ou sur le côté sans constater l'apparition d'une autre raie. Tel est aussi le spectre de flamme indiqué par M. Bunsen pour le chlorure lithique.

En chauffant cet oxyde sur la plaque concave de platine même sur laquelle il a été privé de sodium, dans la pointe du dard oxhydrique ou oxycarbohydrique, de manière à le fondre *partiellement*, la flamme se colore également en pourpre très foncé; son analyse prismatique permet d'apercevoir exclusivement *une seule raie* d'un brun rouge. En avançant le dard pour élever la température, cette raie acquiert de l'éclat et, en même temps, apparait la raie d'un jaune orangé désignée ci-dessus. On peut augmenter très notablement la température sans voir se produire d'autres raies; seulement, la raie d'un rouge brunâtre devient de plus en plus rouge, et la raie d'un jaune orangé vire de plus en plus vers le jaune pur.

Élevant la température par l'introduction de l'oxygène, de manière à porter l'hydrogène en excès à l'incandescence, on constate que la raie primitivement d'un brun rougeâtre est décidément rouge, et la raie d'un jaune orangé est d'un jaune assez pur; en même temps apparait une raie d'un bleu pâle, signalée en premier lieu par MM. Frankland et Lockyer. En opérant

Digitized by Google

comme je viens de le dire, je ne suis pas parvenu à retrouver la raie indiquée par M. Lecoq de Boisbaudran, 135,75 du micromètre de son spectroscope. Si la fente du collimateur est suffisamment étroite, l'espace spectral, sillonné des trois raies indiquées ci-dessus, est complètement *obscur*.

En portant la température *au point de fusion de l'iridium*, par l'introduction dans le cône interne d'un fort dard oxhydrique, d'un petit cône en iridium aggloméré pénétré et entouré d'oxyde de lithium et attaché à une tige de charbon de cornue d'un millimètre environ de diamètre, on constate que la couleur du cône interne du dard devient instantanément d'un *bleu foncé*, que l'enveloppe du cône se colore en rouge brun et que la pointe du dard est rouge-carmin. L'analyse prismatique de l'illumination bleu foncé, rouge brun, laisse apercevoir un espace spectral fortement illuminé d'un spectre continu, sillonné de trois raies parmi lesquelles la double raie sodique et la seconde raie violette découverte récemment par MM. Liveing et Dewar dans le spectre lithique de l'arc électrique, font absolument défaut.

Par l'abaissement de la température, les phénomènes spectraux se présentent dans un ordre inverse. La raie bleue, apparue la dernière, disparait la première, puis la raie jaune orangé et enfin la raie d'un rouge brun. Mais les soins que j'ai pris pour l'exécution de mes observations me permettent d'affirmer que pendant les apparitions et les disparitions des raies caractéristiques du lithium à l'état d'oxyde, il ne m'a pas été possible d'apercevoir la raie sodique on opérant sur un composé sodique *pur*. M. Rommelaere, qui m'a prêté son concours dévoué et éclairé pour la préparation du carbonate de lithium et l'exécution de ces recherches, a constaté les mêmes résultats que moi en se servant de l'excellent spectroscope à vision directe de M. Hilger, tandis que j'employais successivement le spectroscope de feu Steinheil et le spectroscope de M. Duboscq, muni successivement de deux et de trois prismes.

Le *sulfate de lithium* fournit, dans la flamme de l'hydrogène et au dard oxhydrique, le même spectre que l'oxyde de lithium dans les mêmes conditions; je me suis assuré de cette identité en opérant sur des sulfates préparés par M. Bunsen et par moi.

Lors de la revision que j'ai faite de mes études spectroscopiques, en colla-

Digitized by Google

boration avec M. Depaire, nous avons recherché ensemble, en substituant à un grand spectroscope muni d'un prisme et d'oculaires de *flint*, le spectroscope de M. Hilger à deux demi-prismes et oculaires en *quartz*, et en nous servant successivement de sulfate de lithium préparé par M. Bunsen et du chlorure de lithium préparé par M. Depaire, s'il est possible d'apercevoir la seconde raie bleue découverte par MM. Liveing et Dewar dans le spectre lithique du dard oxycarbohydrique et dans le cône interne de ce dard.

A cet effet, nous avons introduit successivement, à l'aide d'une tige mince de charbon de cornue purifié et préalablement chauffé au blanc, dans le dard oxycarbohydrique rendu incandescent par l'introduction de l'oxygène, et dans le cône interne de ce dard, les composés lithiques. Malgré tous les efforts faits, *il nous a été impossible de constater l'apparition de la seconde raie bleue lithique, très aisément visible, avec le* MÊME SPECTROSCOPE, *dans l'étincelle, la décharge et l'arc électriques lithiques,* ainsi qu'il sera dit plus loin.

Ainsi, il existe *trois* spectres de *flamme* de l'oxyde et du sulfate lithiques. Le premier correspond au point de fusion de l'oxyde de lithium; on le réalise le mieux avec le brûleur de Bunsen; le deuxième correspond à la température de la combustion de l'hydrogène dans l'air, et le troisième à la température à laquelle l'hydrogène est porté à l'incandescence.

Spectre électrique du lithium. — J'ai voulu contrôler mes observations en remplaçant, par l'étincelle d'une petite bobine d'induction *sans condensateur,* la chaleur produite par la combustion du gaz oxhydrique, ainsi que M. Lecoq de Boisbaudran et M. Bunsen l'ont déjà fait en se servant de chlorure au lieu d'oxyde. A cette fin, après avoir éliminé soigneusement, par le dard oxhydrique, le sodium de l'oxyde de lithium, et *pendant qu'il était encore chauffé près du point de fusion du platine,* j'ai plongé dans le liquide deux sphéroïdes de platine pur de 3 millimètres de diamètre, soudés à de gros fils de platine, qui venaient d'être rougis à blanc et rapidement refroidis, de manière à couvrir les sphéroïdes d'une couche assez épaisse d'oxyde lithique.

Ayant fixé les deux sphéroïdes à une distance convenable l'un de l'autre (2 à 3 millimètres) et devant la fente des spectroscopes de Steinheil et Duboscq, j'ai fait éclater entre les deux sphéroïdes, à l'aide d'une petite

Digitized by Google

bobine *sans condensateur*, une étincelle d'induction, la plus forte possible, sans provoquer l'apparition des raies atmosphériques; quoique l'étincelle fût *à peine* colorée en pourpre, j'ai reconnu identiquement et exclusivement les raies du spectre de flamme de l'hydrogène porté à l'incandescence, ni plus ni moins, c'est-à-dire l'*absence complète de la raie sodique* et l'apparition des trois raies rouge, orange et bleu pâle. Quoique le nombre des raies du spectre électrique de l'oxyde de lithium soit le même que celui du spectre complet de flamme de ce même corps, il y a cependant une différence fondamentale entre les deux spectres. Dans le spectre de flamme, la raie brune ou rouge est très forte et d'une grande intensité colorante, et la raie orange ou jaune est très faible; tandis que dans le spectre électrique, c'est l'inverse : la raie brune est d'une faiblesse extrême et la raie orangée est forte et intensément colorée. Je n'ai pas observé de différence entre la force et l'intensité de coloration de la raie bleue du spectre de flamme et du spectre électrique. Il est donc certain, ainsi que cela résulte du reste des observations de M. Bunsen, qu'il y a une différence essentielle entre le *facies* des deux spectres du lithium. Quant à la *position* des raies de flamme et des raies électriques, je l'ai trouvée identique en me servant du *spectre solaire comme repère pour les deux spectres lithiques*.

Voulant m'assurer si le spectre du lithium n'éprouverait pas des changements en substituant à l'étincelle d'une petite bobine sans condensateur de fortes décharges, j'ai remplacé la petite bobine par la grande bobine de Ruhmkorff accouplée à un condensateur formé de *cinq* très grandes bouteilles de Leyde, ayant eu soin, au préalable, de juxtaposer le spectre solaire comme repère.

Soit que j'aie maintenu ou intercepté le passage des radiations solaires, j'ai reconnu la reproduction du spectre lithique, identique pour le *nombre* et la *position* des raies, avec le spectre du dard oxhydrique, venant s'ajouter au spectre des raies atmosphériques; mais j'ai constaté en même temps l'apparition *non équivoque*, quoique très affaiblie, des raies sodiques, en corrélation de D et D_1 du spectre solaire. Ayant cherché à me rendre compte de l'apparition des raies sodiques, j'ai vu qu'en substituant aux sphéroïdes en platine couverts d'oxyde de lithium, des sphéroïdes en platine pur, l'analyse

Digitized by Google

prismatique de la décharge permettait d'apercevoir les raies sodiques dans le *même* air, avec la même netteté qu'avec l'interposition de l'oxyde lithique, *j'ai fait alterner à plusieurs reprises les substitutions, et toujours avec le même résultat.* Pendant ce temps, l'analyse prismatique de la flamme d'une lampe de Bunsen, brûlant dans cet air, ne fournissait pas de trace de raie sodique. Malheureusement, la contamination de l'air par la présence et le mouvement de *trois* personnes indispensables aux observations, a mis bientôt fin aux essais.

Ces investigations datent du mois de décembre 1878. Je les ai répétées à des époques différentes, lorsque la condition de pureté relative de l'air s'est présentée, en me servant successivement d'un spectroscope à un prisme et du spectroscope à cinq prismes de M. Duboscq, et je dois déclarer n'avoir jamais trouvé à Bruxelles de l'air intérieur, ou même extérieur, suffisamment privé de sodium pour ne pas donner, par l'analyse prismatique d'une *forte décharge,* des signes non équivoques, quoique très affaiblis, de la présence du sodium, alors qu'il m'était absolument impossible d'observer la raie sodique dans le même air avec la flamme d'un brûleur de Bunsen ou dans une étincelle d'une petite bobine ne donnant point les raies atmosphériques.

Ainsi s'expliquent les faits cités plus haut au sujet du platine, de l'argent, etc., qui, dépouillés complètement de sodium, conservés ensuite à l'air, lui empruntent ce métal et fournissent, au bout d'un certain temps, par l'analyse prismatique, des preuves certaines de la présence du sodium. J'appelle preuve certaine l'apparition de la double raie D. Ainsi se confirment aussi les faits consignés dans l'*Essai sur la nature et la quantité de matières minérales solubles et insolubles existant dans l'air du haut de la ville de Bruxelles,* etc.

La possibilité de constater la présence ou l'absence du sodium dans l'air est donc subordonnée à la quantité du métal qui y existe et aux moyens employés pour l'y découvrir.

Je ne vois pas d'autre explication à donner de ces observations. Du reste, l'oxyde lithique privé de tout sodium par le moyen que j'ai exposé, abandonné à l'air, *à l'abri des poussières en suspension,* fournit au bout d'un temps variable, suivant la pureté relative de l'air, des indices non équi-

Digitized by Google

voques de la raie sodique; ainsi se conduisent les sphéroïdes de platine couverts d'oxyde lithique. Après quelques jours de conservation sous une cloche, ils donnent avec l'étincelle d'une petite bobine la raie sodique, comme si l'oxyde employé n'avait pas été privé de sodium.

Lors du contrôle auquel j'ai soumis mes investigations, en collaboration avec M. Depaire, j'ai eu l'occasion de constater les mêmes faits en me servant de sulfate de lithium pur préparé par M. Bunsen. Nous avons reconnu ainsi que ce sulfate, enveloppant des sphéroïdes de platine, ne *donne pas* ou *donne peu* les raies sodiques suivant qu'il est répandu DANS LE MÊME AIR, à l'aide d'une étincelle non condensée ou condensée, et que les sphéroïdes enveloppés, abandonnés à l'air à l'abri des poussières, fournissent du jour au lendemain, avec l'étincelle *non condensée,* les raies sodiques par suite du sodium qu'ils ont emprunté à l'air.

J'ai dit plus haut que le spectre lithique de la décharge électrique est identique à celui d'une faible étincelle. Depuis la rédaction de cette notice, MM. Liveing et Dewar ont constaté, dans le spectre de l'arc électrique lithifère, l'apparition d'une seconde raie bleue; il y a donc lieu de reprendre le spectre du lithium dans la décharge, afin de s'assurer s'il existe, oui ou non, une différence entre le spectre lithique de l'étincelle ou de la décharge et le spectre lithique de l'arc électrique.

Il résulte des faits qui précèdent que, dans les conditions où l'expérimentation exacte est possible sans emprunter le sodium au milieu ambiant lui-même, il n'y a aucun rapport entre les caractères imprimés aux flammes par le lithium à l'état d'oxyde ou de sulfate, et les composés de sodium. Le lithium et le sodium sont irréductibles l'un à l'autre; ils se conduisent comme des corps distincts

Quant au spectre du lithium, il est indubitable que le spectre de flamme est fonction de la température du milieu dans lequel le composé métallique est réduit à l'état de vapeur. En employant un analyseur dont le ou les prismes et les lentilles sont en *flint*, le spectre de l'étincelle faible ou forte est identique au spectre complet de flamme (1879). La découverte faite récemment par MM. Liveing et Dewar d'une seconde raie bleue dans l'arc électrique lithifère, rend indispensables des recherches nouvelles sur le spectre lithique de la décharge électrique.

Digitized by Google

Ayant recherché avec M. Depaire s'il est possible d'apercevoir, dans le spectre de la décharge électrique lithifère, la présence de la seconde raie bleue découverte par MM. Liveing et Dewar, en nous servant, à cet effet, successivement d'un spectroscope à un prisme de M. Duboscq, identique à celui utilisé par M. Lecoq, de Bois-Boudran, pour ses recherches, puis d'un spectroscope à vision directe de MM. Liveing et Dewar et construit par M. Hilger, nos investigations sont restées infructueuses, soit que nous ayons opéré dans l'air en tenant compte des raies atmosphériques, soit que nous ayons effectué la décharge en remplaçant l'air par de l'hydrogène.

Dans l'un et l'autre cas nous n'avons constaté, *avec certitude*, qu'une seule raie bleue : celle découverte par MM. Frankland et Lockyer. Les résultats ont été tout autres en substituant au spectroscope de Duboscq et au spectroscope à vision directe, munis l'un et l'autre de prismes très réfringents et très absorbants en flint, un spectroscope de M. Hilger avec deux demi-prismes et oculaires en *quartz*. En nous servant de cet excellent instrument, nous avons aperçu la seconde raie bleue non seulement dans la décharge électrique, mais même dans l'étincelle lithifère *non* condensée. Cette seconde raie s'est présentée, dans ce cas, avec une teinte bleue très pâle.

La visibilité ou la non-visibilité de cette seconde raie bleue dans le spectre de l'étincelle, ou de la décharge, dépend donc exclusivement de l'*analyseur* employé. Nous avons dit plus haut qu'en nous servant du spectroscope de M. Hilger avec prismes et lentilles de quartz, on n'aperçoit pas la seconde raie bleue lithique dans le spectre de flamme (cône interne du gaz oxycarbo-hydrique lithifère). Ces faits étant constatés, il était à peine nécessaire de soumettre à l'analyse prismatique l'arc électrique lithifère. Néanmoins nous nous sommes livrés à cette recherche dans le but de nous renseigner à la fois sur l'influence de l'intensité lumineuse et de l'analyseur, et sur la permanence du spectre du lithium.

A cet effet nous avons produit :

1° Un arc électrique à l'aide de *trente-trois* boîtes d'accumulateurs Julien, donnant, aux bornes de la lampe, 10 ampères et 70 volts;

2° Un arc électrique à l'aide d'un dynamo Gramme et d'un dynamo Siemens *accouplés*, donnant, aux bornes de la lampe, 28 ampères et 70 volts.

Digitized by Google

Dans les deux cas, l'arc électrique jaillissait entre deux électrodes de charbon de cornue purifié, se consumant sans laisser trace de cendre; elles étaient fixées sur une lampe Foucault. L'électrode négative, de 6 à 7 millimètres de diamètre, était terminée en pointe; l'électrode positive, de 12 millimètres de diamètre, était terminée par une surface plane, dans laquelle était creusée une cavité destinée à recevoir le composé de lithium à volatiliser dans l'arc.

Comme analyseur, l'un de nous s'est servi du spectroscope de M. Hilger à deux demi-prismes et lentilles en *quartz*, et l'autre a employé le spectroscope à vision directe de MM. Liveing et Dewar avec prismes de flint.

Après avoir fait jaillir l'arc par la mise en contact des électrodes et la fusion du sulfate et du chlorure de lithium logé dans la cavité de l'électrode positive, nous avons aperçu avec le courant des accumulateurs d'abord, ensuite avec le courant des dynamos *accouplés,* le spectre lithique formé de ses *quatre* raies (une raie rouge foncé, une raie jaune orangé, une première raie d'un bleu pâle, et une seconde raie d'un bleu plus pâle que la première), se détachant soit sur un spectre *continu* intensément illuminé, soit sur un spectre *continu* sillonné du spectre du carbone, formé de raies fines, brillantes. Ces raies fines étaient telles que M. Fievez les a décrites dans ses *Recherches sur le spectre de carbone dans l'arc électrique,* et telles que le lieutenant général Liagre et l'un de nous les ont vues pendant l'exécution du travail de M. Fievez à l'Observatoire royal de Bruxelles.

Pour pouvoir continuer les observations pendant le temps nécessaire à la sélection des raies lithiques et carboniques, une personne était chargée d'introduire dans l'arc, à l'aide d'une aiguille de charbon de cornue purifié, terminée en spatule, le composé lithique au fur et à mesure que celui-ci se volatilisait. Lors de l'introduction du composé lithique dans l'intérieur de l'arc électrique, celui-ci n'éprouvait aucun changement de coloration, tandis que son enveloppe était fortement colorée en rouge foncé, surtout vers l'électrode négative. A la température de l'arc électrique, la vapeur lithique est donc bleue, comme le fuseau lui-même.

En agissant ainsi, nous avons pu constater avec certitude que l'espace spectral était formé d'un spectre lithique sur un spectre continu, ou d'un

Digitized by Google

spectre lithique sur un spectre continu sillonné par les raies fines résultant de la résolution des bandes carbonées, suivant que les électrodes se *touchaient* ou étaient *écartées*, c'est-à-dire suivant que l'analyse prismatique s'effectuait sur les électrodes en contact mais entourées de vapeurs lithiques, ou suivant que l'analyse s'opérait sur l'arc contenant à la fois des vapeurs carbonées et lithiques. Mais dans les deux positions des électrodes, nous avons vu *en permanence* les quatre raies lithiques, ni plus ni moins, en ce qui concerne le lithium.

On doit donc conclure à l'immutabilité du spectre lithique dans l'arc si puissant dont nous avons disposé.

En nous servant du sulfate de lithium absolument privé de sodium, nous n'avons pas aperçu les doubles raies sodiques dans l'espace spectral; tandis qu'en employant du chlorure de lithium sodifère, nous avons constaté dans l'espace spectral les doubles raies sodiques.

CHAPITRE V.

Recherches chimiques sur le carbonate, l'oxalate, le sulfate et le chlorure de calcium.

A une époque déjà éloignée de nous, j'ai essayé de déterminer le poids atomique du calcium. Je me suis abstenu de publier ces recherches à cause de l'absence de concordance des résultats obtenus. A cette occasion, j'ai tenté de préparer du carbonate de calcium, tant à l'aide du chlorure que de l'azotate pur, pour comparer son contenu en oxyde calcique avec celui du spath d'Islande. J'ai reconnu alors que le carbonate précipité et le même carbonate dissous dans l'eau chargée d'anhydride carbonique, retiennent l'un et l'autre de l'eau, fait généralement admis aujourd'hui; de plus, j'ai trouvé

Digitized by Google

que, tout en tenant compte de l'eau, le carbonate dissous à plusieurs reprises dans l'eau chargée d'anhydride carbonique, laisse à la calcination, dans une nacelle de platine, placée dans un tube en porcelaine, traversé par un courant d'air pur, moins d'oxyde de calcium que le carbonate précipité par le carbonate ammoniacal d'ammonium, et que le spath d'Islande le plus pur. Le poids atomique du calcium déduit du carbonate artificiel, redissous dans l'eau chargée d'anhydride carbonique, est néanmoins légèrement supérieur au chiffre que présuppose l'hypothèse de Prout. Les recherches que j'ai entreprises dans ces dernières années m'ont permis de me rendre compte de la différence de composition des carbonates calciques préparés par moi. J'ai opéré dans des vases de verre la décomposition du chlorure et de l'azotate du calcium par le carbonate ammoniacal d'ammonium. J'ai donc emprunté du silicium et du sodium au verre, qui s'est fixé sur le carbonate calcique produit. Ayant conservé une partie des sels préparés à cette époque, j'ai été à même de constater la présence de la silice, non seulement dans le carbonate précipité directement, mais même dans le carbonate redissous dans l'eau chargée d'anhydride carbonique.

Tous ces travaux étaient à reprendre. Les détails dans lesquels je vais entrer permettront à ceux qui voudront se livrer à la détermination du poids atomique du calcium, de se procurer de l'oxyde de ce métal que je crois pur.

Pour m'assurer de l'identité de l'oxyde calcique, j'ai eu successivement recours aux composés naturels ou artificiels de calcium suivants : le spath calcaire et l'arragonite, incolores et transparents, le marbre blanc; l'oxalate, le sulfate et le carbonate artificiels provenant de l'azotate préparé à l'aide du spath d'Islande. J'ai fait subir au spath calcaire, à l'arragonite et au marbre blanc le même traitement pour en éliminer les matières étrangères. J'ai constaté dans tous de la silice, du sodium, du fer et du manganèse; dans le spath d'Islande des traces de lithium, mais point de strontium ni de baryum; dans l'arragonite des traces de lithium, du magnésium, une quantité très notable de strontium, mais *aucune trace de baryum;* dans le marbre blanc également du lithium, du magnésium et du strontium, *sans* baryum.

De toutes ces matières étrangères, l'élimination du sodium et du strontium présente seule des difficultés.

Digitized by Google

Traitement du spath d'Islande. — Devant commencer par la séparation de la silice dans un vase de platine qui est attaqué sensiblement par l'azotate de calcium *fondu*, j'ai été forcé d'opérer la dissolution du carbonate calcique à l'aide de l'acide chlorhydrique dilué, en ayant la précaution d'en laisser indissoute une certaine quantité. La solution de chlorure a été portée à l'ébullition pour chasser l'anhydride carbonique dissous, et séparée ensuite de l'excès de carbonate employé. Dans le liquide bouillant on a versé, jusqu'à réaction alcaline prononcée, du lait de chaux produit à l'aide de l'oxyde de calcium provenant de la calcination, dans un vase de platine, du spath d'Islande. Après refroidissement, la solution de chlorure a été filtrée, additionnée ensuite de sel ammoniac pur, évaporée jusqu'à siccité dans une cornue de platine, et le résidu chauffé au point d'émettre d'abondantes vapeurs de chlorure d'ammonium, *seul moyen à moi connu d'éliminer la silice* dont la quantité s'élève de $^1/_{7000}$ à $^1/_{8000}$ du poids du spath d'Islande.

Le chlorure de calcium, contenant encore du chlorure d'ammonium, a été repris par de l'eau, et la solution, abandonnée au repos, a été filtrée pour séparer la silice devenue libre. Le papier du filtre employé avait été lavé à l'eau acidulée par les acides, fluorhydrique et chlorhydrique, et ensuite à l'eau pure.

On a répété à deux reprises l'évaporation à siccité de la solution de chlorure de calcium, et l'élévation de la température au point de volatiliser chaque fois une partie du chlorure d'ammonium ajouté à la première reprise par l'eau; la limpidité absolue de la solution pouvait être douteuse, néanmoins on a procédé à sa filtration. La deuxième reprise a fourni un liquide d'une limpidité incontestable. Après l'avoir encore filtré, on l'a dilué d'eau pure, autant que le permettait la capacité des vases en platine, et on l'a versé petit à petit dans un excès de solution de carbonate ammoniacal d'ammonium, préparée et contenue également dans un grand vase de platine couvert d'une cloche. Après douze heures de repos, on a décanté l'eau mère surnageante, on a réuni le carbonate de calcium dans la cucurbite d'une grande cornue de platine, à laquelle était adapté son chapiteau, et l'on a procédé par décantation à froid au lavage du précipité, en employant chaque fois un volume d'eau pure double du volume apparent du carbonate. Il a

Digitized by Google

fallu quinze lavages à froid pour amener le liquide décanté à ne plus bleuir le papier rouge de tournesol. Arrivée à cet état, l'eau de lavage troublait encore très sensiblement l'azotate d'argent acidulé par de l'acide azotique.

On a achevé le lavage en tenant le précipité en suspension dans de l'eau en ébullition, renouvelée jusqu'à ce que le liquide, reposé et décanté, ne troublât plus la limpidité d'une solution acide d'azotate d'argent. Vingt lavages à l'eau bouillante ont été nécessaires pour réaliser ce résultat. Le carbonate a été séché ensuite dans la cornue même.

Pendant toutes les opérations effectuées dans la cucurbite, on a soin d'y adapter toujours le chapiteau muni d'un récipient, afin d'empêcher les poussières de l'air de tomber ou de pénétrer dans la cucurbite.

J'ai soumis aux investigations suivantes le carbonate retiré respectivement du spath d'Islande, de l'arragonite et du marbre blanc.

Le carbonate du spath calcaire, porté directement de la cornue sur une plaque de platine qui venait d'être rougie, a très faiblement jauni le dard oxhydrique. Après quinze minutes de chauffe avec le renouvellement des surfaces de la couche épaisse d'oxyde, l'analyse prismatique ne permet plus d'apercevoir le spectre sodique plus fortement qu'on ne le voit dans le dard brûlant dans l'air ambiant.

Le spectre du calcium est celui indiqué dans le travail ; cet oxyde, chauffé au point de fusion de l'iridium, ne donne, après que sa masse est réduite par volatilisation au centième de la quantité mise en expérience, pas de trace des spectres du lithium, du strontium ou du baryum.

Au point de vue du sodium, les carbonates retirés de l'arragonite et du marbre blanc se conduisent absolument comme celui retiré du spath calcaire. Par une chaleur suffisante et assez longtemps prolongée, l'oxyde qu'ils laissent se dépouille facilement de sodium. Mais il suffit de chauffer l'oxyde de l'arragonite au point de fusion du platine et l'oxyde du marbre blanc au point de fusion de l'iridium, pour apercevoir, avec le spectre calcique, les raies caractéristiques du strontium. Ces essais m'ont permis de constater, avec certitude, la double influence des masses et de la température sur l'apparition et la non-apparition du spectre des métaux en présence.

Je n'ai pas aperçu le spectre du lithium dans la vapeur des oxydes du

Digitized by Google

calcium du spath calcaire, de l'arragonite et du marbre blanc. *Je n'ai trouvé des traces de lithium que dans les eaux mères de précipitation des chlorures par le carbonate biammonique.* Ces eaux contenaient également du chlorure de sodium. Il m'a été impossible de constater la présence du chlorure de potassium.

Quoique le carbonate de calcium retiré du spath d'Islande ne m'ait point fourni trace de raies caractéristiques du strontium, je l'ai soumis néanmoins, ainsi que les carbonates obtenus à l'aide de l'arragonite et du marbre blanc, à un même traitement, pour en séparer le strontium qu'il pouvait contenir. J'ai suivi, à cet effet, le procédé de Stromeyer.

J'ai dissous dans de l'acide azotique pur le carbonate, précipité et lavé, contenu dans la cucurbite en platine. La solution a été évaporée rapidement jusqu'à consistance sirupeuse, et l'azotate a été ensuite complètement desséché en plaçant la cornue de platine, couverte de son chapiteau, dans un bain d'air chauffé entre 150 et 170 degrés.

Si l'on opère la déshydratation sans prendre les plus grandes précautions, on rend le sel très basique et l'on attaque le platine en colorant l'azotate en jaune. Par des essais préliminaires, je me suis assuré que lorsque l'azotate retient la moindre quantité d'eau, l'alcool anhydre, en le dissolvant, prend du strontium que l'addition de l'éther anhydre est impuissante à précipiter. Entre les deux inconvénients il n'y a donc pas à hésiter.

La déshydratation étant accomplie, on a repris l'azotate avec la plus petite quantité d'alcool anhydre, et la solution trouble a été versée dans un flacon en verre, bouché à l'éméri, et additionnée d'éther anhydre jusqu'à précipitation d'azotate calcique. Après l'éclaircissement complet du liquide, le flacon qui le contenait a été placé dans un mélange réfrigérant de sel marin et de glace. Le liquide, s'étant troublé de nouveau, a été abandonné dans le mélange réfrigérant renouvelé jusqu'à parfait éclaircissement.

Le liquide limpide et incolore surnageant a été décanté avec les plus grandes précautions, pour ne pas mettre en suspension le précipité déposé, et a été filtré au travers d'un filtre de papier purifié, contenu dans un entonnoir de platine couvert et évaporé au bain-marie dans un vase de platine couvert d'un entonnoir plus large que lui.

Digitized by Google

Le dépôt formé au fond du flacon a été repris par un mélange formé de volumes égaux d'alcool et d'éther anhydres, et le tout a été versé sur le filtre ayant servi à la filtration de la masse de liquide. *L'alcool éthéré employé pour épuiser la masse insoluble, a été complètement écarté.*

J'ai soumis à un examen attentif le résidu laissé par l'azotate de calcium provenant du spath d'Islande, de l'arragonite et du marbre. Voici les résultats auxquels je suis arrivé :

Le résidu grenu, provenant du traitement du spath, se composait exclusivement d'azotate basique de calcium, avec traces de platinate de calcium, mais sans une trace d'azotate de strontium. En effet, l'oxyde qui en est provenu, chauffé au dard oxhydrique à la température de la fusion de l'iridium, a donné indéfiniment et exclusivement le spectre calcique.

Le résidu grenu, provenant du traitement de l'arragonite, se composait d'un mélange d'azotate basique de calcium, très légèrement teint en jaune par du platinate de calcium et d'une notable quantité d'azotate de strontium, reconnaissable déjà dans le dard oxhydrique lorsque le mélange d'oxydes n'était chauffé qu'au point de fusion du platine.

Le résidu grenu, provenant du traitement du marbre blanc, se composait également d'un mélange d'azotate basique de calcium et d'azotate de strontium, coloré par des traces de platinate de calcium. L'azotate de strontium était en quantité incomparablement moindre que dans l'arragonite.

N'ayant trouvé aucune trace de strontium dans l'azotate de calcium du spath d'Islande mis en œuvre, j'ai fait servir directement cet azotate à la préparation du carbonate, de l'oxalate et du sulfate de calcium, dans le but de m'assurer de l'identité de l'oxyde de calcium qui peut provenir de ces sels. Je reviendrai plus loin à ce sujet.

La solution d'azotate de calcium provenant de l'arragonite et du marbre, dont on avait éliminé le strontium ainsi qu'il est dit ci-dessus, a été évaporée de nouveau dans la cornue de platine, et le résidu a été déshydraté avec les plus grands soins. On a repris ensuite tout le traitement à l'alcool et l'éther anhydre, de l'azotate desséché et du résidu laissé.

J'ai reconnu avec certitude, dans le résidu abandonné par l'azotate provenant de l'arragonite, la présence du strontium, mais *en quantité très faible.*

Digitized by Google

Je n'ai trouvé que de l'azotate basique de calcium, teinté de jaune par du platinate de calcium, dans le résidu abandonné par l'azotate fourni par le marbre.

La solution de l'azotate de l'arragonite a été évaporée une *troisième* fois, et le sel desséché et parfaitement déshydraté a été soumis à un nouveau traitement de l'alcool éthéré anhydre. Il m'a été impossible de constater, dans le résidu laissé par cette troisième reprise, la présence de la moindre trace de strontium en faisant l'essai au dard oxhydrique au point de fusion de l'iridium.

Ainsi donc, quoique l'azotate de strontium ne soit pas absolument insoluble dans une solution alcoolique et éthérée d'azotate de calcium, comme il est facile de s'en assurer, on parvient néanmoins à éliminer le strontium, grâce probablement à la formation de l'azotate basique de calcium, absolument insoluble dans l'alcool éthéré anhydre.

L'azotate de calcium de l'arragonite et l'azotate du marbre, privés de strontium, ont été transformés en carbonate comme je vais le dire pour l'azotate obtenu à l'aide du spath d'Islande.

J'avais soumis à la purification environ 350 grammes de spath d'Islande absolument *incolore* et *transparent*.

L'azotate qui en est provenu à l'aide des traitements décrits ci-dessus, a été partagé en trois parties, A, B et C. La première A a été transformée en carbonate, la deuxième B en oxalate, et la troisième C en sulfate, et celui-ci, partiellement, en carbonate.

J'ai opéré la transformation en carbonate dans le platine à l'aide du carbonate ammoniacal d'ammonium, ainsi que je l'ai exposé plus haut à l'occasion du chlorure de calcium. Le lavage et la dessiccation du carbonate ont été effectués dans les mêmes conditions et avec les mêmes soins. Il est inutile de répéter ici ces détails.

J'ai transformé en oxalate le deuxième tiers B, en me servant d'oxalate d'ammonium qui avait été soumis dans le *platine* à des cristallisations successives jusqu'à ce que la calcination de 10 grammes de sel ne laissât plus trace pondérable de résidu, ce qui est plus long à réaliser qu'on ne le croit généralement, alors même qu'on opère la solution du sel dans de l'eau contenant

Digitized by Google

quelques millièmes de carbonate ammoniacal d'ammonium, et ce qui, d'après mon expérience, est impossible à réaliser dans des vases de verre.

Pour la précipitation, j'ai versé lentement, à *froid,* la solution de l'azotate de calcium dans une solution saturée d'oxalate d'ammonium contenant en suspension une quantité suffisante de ce sel pour transformer en oxalate tout l'azotate calcique employé. J'ai agi ainsi pour ne pas avoir un volume trop considérable d'eau mère que je voulais examiner avec les deux premières eaux de lavage, pour m'assurer de leur contenu en matières étrangères fixes.

Après un repos de douze heures, les eaux mères ont été décantées et filtrées au travers d'un filtre de papier purifié, contenu dans un entonnoir en platine, et l'oxalate de calcium a été mis en suspension dans deux fois son volume d'eau.

Les eaux mères filtrées ont été évaporées à siccité dans une capsule de platine, et l'on a agi de même pour les deux premières eaux de lavage.

Les produits de l'évaporation des eaux mères et de lavage, formés d'azotate et d'oxalate d'ammonium, ont été chauffés jusqu'à destruction de toute matière volatilisable. Ils ont laissé un résidu du poids de $0^{gr},041$ d'oxyde de calcium assez fortement coloré en jaune par du platinate de calcium et donnant un spectre sodique très prononcé, sans trace de spectre potassique ou lithique.

L'oxalate de calcium a été lavé par décantation. On a renouvelé vingt fois les lavages en employant à chaque reprise deux fois son volume d'eau; on a séché au bain-marie le sel lavé et on l'a transformé en carbonate en le chauffant au rouge sombre dans la cornue en platine qui le contenait; je reviendrai plus loin à ce carbonate qui était tout à fait *blanc.*

Porté immédiatement après sa préparation sur une plaque de platine qui venait d'être rougie, il a coloré en jaune le dard oxhydrique; cette coloration a été remplacée presque instantanément par une coloration rouge orangé, qui est devenue rouge intense au point de fusion du platine. Après avoir complètement éliminé le sodium par le renouvellement des surfaces, le spectre de l'oxyde calcique produit a été identique à celui de l'oxyde du carbonate obtenu par le chlorure et l'azotate de calcium.

Le troisième tiers C de la solution d'azotate de calcium du spath a été converti en sulfate en le versant dans un excès d'alcool pur, acidulé par de

Digitized by Google

l'acide sulfurique, distillé dans le platine. Après le dépôt du sulfate de calcium, j'ai décanté l'eau mère alcoolique et j'ai mis le précipité en suspension dans deux fois son volume d'alcool à 60°, et j'ai versé le tout dans un entonnoir de platine, muni d'un tampon de toile purifiée, en communication avec une pompe à eau; j'ai fait passer de l'alcool faible tant que le liquide de lavage eût rougi le papier bleu de tournesol.

Immédiatement après son lavage, le précipité de sulfate calcique, introduit au bout d'une boucle en fil de platine, n'a pas communiqué de coloration jaune à la flamme d'un brûleur de Bunsen ou à la flamme de l'hydrogène, et n'a pas fourni trace de spectre sodique. De tous les composés de calcium, le sulfate est le seul qui ait présenté ce caractère à son introduction dans la flamme. Ce fait m'a d'autant plus surpris qu'il existe un sulfate double de calcium et de sodium.

Je donnerai plus loin le spectre du sulfate après sa dessiccation à l'abri des poussières, sous une cloche remplie d'air maintenu sec.

Les deux tiers au moins du sulfate de calcium, encore humide, ont été introduits petit à petit dans un excès de solution étendue de carbonate ammoniacal d'ammonium, contenu dans la cucurbite d'une grande cornue de platine couverte de son chapiteau. On a laissé les matières en contact pendant douze heures, en ayant soin d'agiter de temps à autre le vase qui les contenait. On a procédé ensuite par décantation au lavage complet du carbonate. Pour les cinq premiers lavages on s'est servi d'une solution très faible de carbonate ammoniacal d'ammonium, et l'on a terminé avec de l'eau pure. Les lavages ont été renouvelés tant que les eaux décantées, filtrées et évaporées aux neuf dixièmes, ont troublé une solution d'acétate acide de baryum. Après le lavage, le carbonate a été mis en suspension dans un litre d'eau au travers de laquelle on a fait passer de l'anhydride carbonique jusqu'à refus. La solution surnageante, étant devenue limpide par le repos, a été décantée et la masse de carbonate a été lavée à deux reprises par de l'eau pure, puis mise de nouveau en suspension dans quatre litres d'eau pure qu'on a fait traverser jusqu'à refus par de l'anhydride carbonique, amené par un tube de caoutchouc.

Le liquide limpide surnageant a été porté, par parties à la fois, à l'ébul-

Digitized by Google

lition dans la cucurbite de la cornue de platine, et remplacé par un volume égal d'eau pure, au travers de laquelle on a fait passer encore de l'anhydride carbonique. Huit litres de solution ont déposé environ *6 grammes* de carbonate grenu de calcium. Une partie de ce précipité, portée immédiatement, à l'aide d'une boucle de fil de platine récemment rougie, dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, ne lui a communiqué *aucune* coloration jaune, et l'analyse prismatique de la flamme n'a permis de constater que des traces *très fugitives* du spectre sodique et identiques à celles données par la flamme seule. Le carbonate a été séché sous une cloche dans de l'air maintenu sec à l'aide de l'acide sulfurique.

La masse de carbonate de calcium restée dans la grande cornue munie de son chapiteau, y a été séchée au bain-marie et partant à l'abri des poussières de l'air.

Pour la transformation en carbonate de l'azotate de calcium, dépouillé de strontium, obtenu à l'aide de l'arragonite et du marbre blanc, j'ai procédé ainsi qu'il est dit pour l'azotate retiré du spath calcaire privé absolument de strontium. Je puis donc me dispenser d'entrer dans des détails à ce sujet.

Pour me résumer :

A. En ce qui concerne le carbonate de calcium retiré du *spath d'Islande*, je l'ai obtenu :

1° Par la décomposition du chlorure purifié fourni par le spath;

2° Par la transformation du carbonate du chlorure en azotate et par la précipitation subséquente de cet azotate à l'aide du carbonate biammonique;

3° Par la transformation de l'azotate en oxalate, et la réduction de celui-ci en carbonate par l'action de la chaleur;

4° Par la conversion de l'azotate en sulfate et la transformation subséquente de ce sulfate en carbonate;

5° Par la dissolution du carbonate du sulfate dans l'eau chargée d'anhydride carbonique.

B. En ce qui concerne le carbonate de calcium retiré de l'*arragonite,* je l'ai obtenu en transformant d'abord ce calcaire en chlorure privé de fer, de manganèse et de silice, en précipitant le chlorure par le carbonate biammo-

Digitized by Google

nique, en dissolvant le carbonate calcique ainsi produit dans l'acide azotique et le privant de l'azotate du strontium qui y est contenu, et enfin en précipitant de nouveau l'azotate par le carbonate biammonique.

C. En ce qui concerne le carbonate retiré du *marbre blanc,* je l'ai produit absolument comme il est dit pour le carbonate de l'arragonite.

J'ai transformé en *chlorure* une certaine quantité de l'oxyde de calcium, provenant de la dissociation du carbonate pur retiré du marbre. J'avais eu soin, au préalable, de priver complètement cet oxyde de sodium, en le chauffant au dard oxhydrique. J'ai opéré cette conversion tant en chauffant au rouge, dans un courant d'acide chlorhydrique sec, l'oxyde contenu dans une nacelle de platine placée dans un tube en porcelaine, qu'en fondant dans un creuset de platine, au dard du chalumeau oxhydrique, le même oxyde mélangé d'un grand excès de chlorure d'ammonium pur.

Une boucle de fil de platine qui venait d'être rougie, introduite dans l'un ou l'autre chlorure fondu, produit ainsi, et portée dans la flamme d'un brûleur de Bunsen alimenté au gaz de l'éclairage, ou dans la flamme de l'hydrogène, colore immédiatement ces flammes en jaune, et ce n'est que quelques moments après qu'apparait la coloration calcique. Le spectre sodique se montre fortement tant que le chlorure n'est pas ramené presque complètement à l'état d'oxychlorure. Toutes les tentatives que j'ai faites pour me procurer du chlorure calcique fondu ne donnant pas la raie sodique à l'analyse prismatique, ont absolument échoué.

A l'occasion de ces recherches, j'ai été à même de constater combien est puissante la tendance du chlorure à fixer du sodium. Ayant abandonné sous une cloche de verre, partant à l'abri des poussières de l'air, du chlorure de calcium fondu, contenu encore dans la nacelle ou dans le creuset de platine, en attirant *très lentement* l'eau de l'atmosphère et en se liquéfiant, il a produit une solution qui, introduite sur une boucle de fil de platine dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, lui a communiqué exclusivement la coloration sodique, quoiqu'à l'analyse prismatique j'aie constaté les spectres sodique et calcique.

J'ai observé de plus qu'en abandonnant à l'air, toujours sous une cloche, la solution du chlorure jusqu'à ce qu'elle ait emprunté à l'air toute l'eau

Digitized by Google

qu'elle peut absorber, ce qui exige des mois pour s'effectuer, il arrive un instant où, portée au bout d'une boucle, après évaporation convenable, dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, le chlorure solidifié lui a communiqué une coloration jaune intense et a continué à lui imprimer cette coloration jusqu'à la disparition presque complète du magnifique spectre calcique observé en même temps que la raie sodique.

J'ai répété ces essais un grand nombre de fois et toujours avec les mêmes résultats. Je l'ai déjà dit, des faits identiques se présentent avec l'oxyde lithique pur, transformé en chlorure, et le chlorure de lithium, abandonné à l'air sous une cloche, se conduit absolument comme le chlorure de calcium.

Les chlorures de calcium et de lithium, en attirant l'eau de l'air, fixent donc du sodium. Ce fait est indéniable. Je me demande s'il n'est pas des corps très hygrométriques comme de toutes les surfaces dont la température est au-dessous du point de rosée, qui, en condensant sur elles la vapeur d'eau de l'air, entraînent avec celle-ci le sodium qui y est contenu. L'étude que j'ai faite de l'eau de condensation de l'air sur le platine poli, et dont j'ai consigné les résultats dans l'*Essai sur la nature et la quantité des matières minérales existant dans l'air*, me semble rendre cette explication très admissible.

En tout cas, je ne pense pas qu'il existe un seul chimiste qui oserait entreprendre de déterminer le poids de sodium fixé ainsi sur le chlorure de calcium solide ou liquide, ni de dire l'état sous lequel le sodium existe dans le chlorure. Et cependant la solution-limite de chlorure calcique (c'est-à-dire la limite de dilution à laquelle arrive la solution calcique pour un état hygrométrique donné de l'air) communique à la flamme *la coloration exclusive* d'un composé sodique.

Ces faits démontrent combien il serait contraire à l'expérience et à la raison d'attribuer à un phénomène de dissociation du métal calcium ou lithium la présence de la raie sodique que l'analyse prismatique permet d'apercevoir dans des cas donnés.

Les chimistes admettront facilement que je n'aie pas préparé simultanément tous les produits dont je viens de parler. J'avouerai même qu'ils ont été obtenus à des époques très différentes, en modifiant les méthodes à

Digitized by Google

mesure que l'expérience me faisait connaître de nouvelles causes d'erreur. Ces méthodes constituent la synthèse de mes recherches et le moyen d'arriver au but que je me suis proposé, celui de m'assurer s'il est possible de se procurer de l'oxyde de calcium toujours identique à lui-même, quelle que soit son origine.

Je reviens aux caractères des différents échantillons de carbonate calcique et de l'échantillon unique de sulfate calcique.

Tous ces produits, immédiatement après leur préparation, c'est-à-dire encore humides et partant avant d'avoir eu le contact de l'air, pour être séchés, portés dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, lui impriment une coloration jaune *très fugitive,* sauf le sulfate et le carbonate qui s'est précipité, à l'ébullition, de la solution dans l'eau chargée d'anhydride carbonique. Sous le dard oxhydrique, cette coloration disparaît presque instantanément et est remplacée par la coloration calcique. Le spectre calcique apparaît *identique pour tous,* tel qu'il est décrit dans le texte de ce mémoire, *sans trace* de spectre sodique pour le sulfate et le carbonate qui a été dissous dans l'eau chargée d'anhydride carbonique, et avec traces *fugitives* de ce spectre pour les autres carbonates.

Sans distinction aucune, tous les composés de calcium séchés dans les vases de platine où ils avaient été produits, ou hors de ces vases, mais en contact de l'air, *à l'abri des poussières,* ont imprimé instantanément la coloration sodique aux flammes, et ont fourni le spectre sodique tant que, sous l'influence du dard oxhydrique, tout le sodium n'a pas été éliminé.

L'influence de l'air est donc aussi prépondérante que celle des méthodes employées pour produire les composés calciques.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

Caractères imprimés aux flammes, à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques par les composés du calcium.

Spectres lumineux du calcium. — J'ai entrepris des recherches sur les caractères imprimés aux flammes et à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques par les composés du calcium, dans le but de m'assurer si les spectres lumineux du calcium, du baryum et du strontium ont des rapports communs entre eux et avec les spectres lumineux du sodium, du potassium et du lithium. Je me suis procuré du carbonate calcique emprunté à des sources différentes, pour voir si l'anhydride calcique qui peut en provenir est toujours identique à lui-même, et si l'on peut amener cet anhydride à un état de pureté tel que, volatilisé dans le dard oxhydrique, à la température de la fusion de l'iridium, l'analyse prismatique de la flamme ne permette plus d'apercevoir le spectre sodique, bien entendu lorsque l'air n'en fournit pas dans le même moment.

A cet effet, j'ai eu recours au spath d'Islande, incolore et transparent, à l'arragonite, au marbre blanc, à l'oxalate et au sulfate artificiels, au carbonate qui a été dissous dans l'eau chargée d'anhydride carbonique.

Dans la notice précédente, j'ai exposé la méthode suivie pour me procurer le carbonate calcique, *toujours identique à lui-même,* privé de matières étrangères, sauf de traces de sodium, et susceptible d'être amené par une chaleur convenable, aidée d'un courant gazeux, à l'état d'oxyde calcique pur.

On admet généralement que l'anhydride calcique est grisâtre; celui que j'ai obtenu est au contraire tout à fait blanc, lors même qu'il a été chauffé longtemps au point de fusion de l'iridium. Cet oxyde imprime une coloration d'un *rouge foncé* à la partie du dard oxhydrique dont la température est suffisamment élevée pour fondre le platine, et une coloration d'un *rouge*

Digitized by Google

foncé brunâtre, ou d'un brun-chocolat, à la partie du dard dont la température est près du point de fusion de l'iridium. Cette coloration est d'un *bleu azuré*, à la température de l'iridium FONDU.

A mon avis, la couleur *rouge avec pointe de jaune*, attribuée généralement aux flammes calciques, est due à la présence du sodium dans les composés soumis à l'essai. En effet, on aperçoit la raie sodique dans toute flamme calcique colorée en rouge avec *pointe de jaune*, et dès qu'on cesse de voir la raie sodique, la flamme est colorée en rouge foncé, ou en rouge brunâtre, ou en bleu azuré, suivant l'élévation de la température.

Je ne suis pas parvenu à constater la présence de la raie sodique dans le spectre lumineux des flammes calciques, lorsque, avant de procéder à l'analyse prismatique, j'avais eu soin de maintenir suffisamment longtemps l'oxyde calcique à la température du point de fusion du platine, et que le carbonate employé pour la production de l'oxyde avait été préservé avec les plus grands soins des *poussières atmosphériques*. L'expérience ne présente aucune difficulté et le résultat ne laisse aucun doute. On réussit infailliblement, à la condition d'opérer sur de l'oxyde de calcium privé *absolument* de *silice* qui, en présence de l'oxyde calcique, retient le sodium au point de rendre interminable l'élimination de ce dernier métal, même à la température de la fusion de l'iridium.

Le spath d'Islande et l'arragonite, dits purs, renferment $^1/_{7000}$ et au maximum $^1/_{8000}$ de leur poids de silice, et des quantités indosables de sodium; néanmoins, lorsque, placés au sommet d'un cône d'oxyde de calcium pur, reposant lui-même sur une feuille de platine, on vient à les chauffer au chalumeau oxhydrique, ils colorent le dard en *rouge avec pointe de jaune*, et fournissent un spectre sodique très éclatant. Je n'ai pas poussé l'essai jusqu'au bout, mais, d'après l'insuccès de mes tentatives réitérées, je suis pleinement convaincu qu'on apercevra la raie sodique jusqu'à la volatilisation totale de l'oxyde calcique provenant du spath ou de l'arragonite.

L'oxyde calcique est plus volatil qu'on ne le pense généralement; il se réduit en vapeur à la température de la fusion du platine, et au point de fusion de l'iridium il se volatilise en telle quantité par le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique, que l'air dans lequel on opère est rendu caustique pour la respiration.

Digitized by Google

Spectre du dard oxhydrique calcique. — Après avoir exposé ces faits, je vais indiquer les résultats de l'analyse prismatique de la flamme observée alternativement par M. Rommelaere et par moi, dans les différentes conditions où nous avons opéré.

Le carbonate calcique, considéré comme pur, mais ayant eu longtemps le contact de l'air, *sous une cloche en verre, à bords rodés, doucis, graissés et reposant elle-même sur un plan de verre dépoli,* fut placé en tas conique sur une feuille de platine pur qui venait d'être chauffé à blanc. A l'aide d'un dard oxhydrique *avec excès* d'hydrogène, j'ai procédé à l'élimination de l'anhydride carbonique et du sodium amené par l'air. Cette opération peut s'effectuer complètement, sans volatiliser beaucoup d'oxyde calcique.

L'analyse prismatique de la partie du dard qui a passé sur le composé calcique fournit d'abord un spectre sodique très intense, accompagné d'un spectre calcique très faible.

En dirigeant successivement le dard du chalumeau sur les surfaces de l'oxyde calcique renouvelées à l'aide d'une spatule en platine chauffée à blanc, on voit l'intensité du spectre sodique diminuer et l'intensité du spectre calcique augmenter. Lorsque l'opération est bien conduite, toute trace de raie sodique a disparu avant même l'apparition de la raie bleue 135 du micromètre du spectroscope de M. Bunsen pour le spectre du chlorure dans l'hydrogène. *L'élimination totale étant effectuée ainsi, on peut porter l'oxyde calcique, réuni en tas conique, à la température la plus élevée possible, sans provoquer de nouveau l'apparition de la raie sodique.*

Pour m'assurer de l'exactitude de cette observation, j'ai fait des tentatives dans tous les sens. J'ai chauffé successivement l'oxyde calcique, réuni en tas conique, dans la flamme oxhydrique avec excès d'hydrogène, et dans les rapports exacts pour former de l'eau, en prenant chaque fois la précaution de lancer sur la pointe du cône d'oxyde calcique placé sur un lit de blanc d'iridium la partie du dard où la température est maximum, celle de la fusion de l'iridium. *Mon impuissance à faire naître la raie sodique a été absolue.* Aussi ces observations ne laissent aucun doute dans mon esprit.

Digitized by Google

Quant au spectre de l'oxyde de calcium, je l'ai trouvé formé de bandes et de raies, ou de raies diffuses exclusivement, suivant l'élévation de la température et l'analyseur employé. On n'aperçoit que des bandes tant que la raie bleue n'a pas apparu; mais après l'apparition de cette raie bleue, si la fente du collimateur est assez rétrécie, les bandes elles-mêmes se simplifient, elles se délimitent et se dédoublent en raies *diffuses*.

L'apparition des bandes ne m'a pas semblé se faire dans l'ordre de leur réfrangibilité. J'ai observé d'abord la seconde bande brune ou d'un brun rougeâtre, puis la bande-raie verte, et ensuite les bandes jaunes et jaune orangé, et enfin la raie bleue.

Quoi qu'il en soit de cet ordre d'apparition, bien avant le point de fusion du platine, lorsque l'hydrogène n'est pas encore porté à l'incandescence, en se servant d'une fente suffisamment étroite, le spectre de l'oxyde de calcium pur, dans la flamme oxhydrique, se compose d'un espace obscur, formé exclusivement des bandes et des raies nettement délimitées, indiquées par M. Bunsen dans ses *Spectral analytische Untersuchungen,* avec le chlorure de calcium essayé dans *la flamme de l'hydrogène.* Elles sont connues de tous les chimistes; je puis donc me dispenser de reproduire ici ces constatations qui, d'après mon expérience, défient toute contradiction.

Le facies du spectre calcique, soit de bandes, soit de raies diffuses, est tellement permanent que le doute sur leur spécificité est impossible.

Lorsque j'ai chauffé le *sommet* d'un cône d'oxyde de calcium pur dans le dard oxhydrique, formé de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène, condition dans laquelle la flamme est au *minimum* de longueur et au *maximum* de température, et ayant soin d'avancer le dard sur l'oxyde jusqu'au tiers supérieur de son cône interne, tout le spectre calcique s'est illuminé d'un spectre continu, et j'ai vu apparaître, aux divisions 148-149 du micromètre de mon spectroscope (et 161.4 à 162.5 du micromètre du spectroscope de M. Bunsen), une *bande d'un bleu violacé pâle,* à contours nuageux. Cette bande semblait formée *au moins* de *deux raies* très rapprochées; elle était très fugitive : au moindre mouvement en avant ou en arrière du dard elle disparaissait. J'ai réussi le mieux à voir la double raie bleue en exposant au dard oxycarbohydrique l'oxyde calcique provenant de la

Digitized by Google

décomposition d'un cône formé d'un mélange d'azotate et d'oxyde [1]; cet oxyde est très grenu et ne se déplace pas sous l'influence du dard avec la même facilité que l'anhydride provenant de la dissociation du carbonate. Le déplacement de l'oxyde fin présente l'inconvénient de se laisser entraîner facilement par le dard, sans se réduire complètement en vapeur. L'incandescence du solide produit alors un spectre continu, qui affaiblit fortement l'intensité lumineuse des bandes et des raies du spectre calcique.

Mes observations au sujet de l'apparition de la double raie bleu pâle dans le spectre de flamme calcique datent de la fin de décembre 1878. Ayant eu l'occasion, pendant l'été de 1879, de procéder, en collaboration avec feu mon ami H. Sainte-Claire Deville, dans un creuset de chaux enduit d'oxyde de calcium pur, préparé par moi, à la fonte de *quatre-vingt-cinq grammes* d'iridium pur (opération qui ne présente aucune difficulté lorsqu'il s'agit d'un métal renfermant quelques millièmes seulement de platine, mais qui est d'une difficulté extrême pour l'iridium privé de toute matière étrangère), nous avons constaté, pendant tout le temps que nous avons tenu le métal en pleine fusion dans le dard oxycarbohydrique, l'apparition d'une seconde raie bleue *très forte*. Quoique pendant ce temps il y eût des torrents d'oxyde calcique dégagés dans l'air, nous avons cessé de voir la vapeur calcique colorée en rouge foncé; l'atmosphère de la cavité du creuset était d'*un bleu d'azur*. Dans le *dard oxhydrique*, on observe absolument les mêmes faits. Du reste, MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray avaient, dans leurs travaux antérieurs, eu l'occasion de s'assurer que l'atmosphère de la cavité de chaux, portée à la température la plus élevée à laquelle on puisse atteindre par un puissant chalumeau alimenté à l'oxygène et au gaz de l'éclairage, n'est pas coloré en *rouge*, mais en *bleu*.

[1] Pour préparer un cône d'oxyde calcique *grenu*, j'ai dissous de l'hydrate calcique, sans sodium, dans de l'acide azotique dilué au $^1/_{10}$, distillé dans le platine; après l'évaporation rapide de la solution jusqu'au point de sa solidification par le refroidissement, j'ai ajouté de l'hydrate calcique, sans sodium, en quantité suffisante pour pouvoir transformer et monter la masse en cône; j'ai déposé immédiatement ce cône sur un lit de *blanc d'iridium*, préalablement chauffé au point de décomposition de l'azotate basique calcique, et sans tarder j'ai lancé sur le cône le dard du chalumeau aércarbohydrique; puis, sur le sommet, le cône interne du dard oxhydrique amené au minimum de longueur et, partant, au maximum de température.

Digitized by Google

Pour pouvoir constater l'apparition de la double raie bleue, il convient de rapprocher le plus près possible le spectroscope de l'ouverture du fourneau, en ayant soin toutefois de se placer obliquement et, partant, en dehors du courant gazeux.

Fixation du sodium de l'air sur l'oxyde calcique. — Abandonné à l'air privé de poussière, sous une grande cloche, l'oxyde de calcium ne donnant plus le moindre indice de la présence du sodium, en reprend à l'air au point qu'étant chauffé dans le dard du chalumeau oxhydrique ou oxycarbohydrique, à la température à laquelle n'apparaît pas encore le spectre calcique, il colore ce dard en jaune pur. Toutefois le spectre sodique qui apparaît ainsi est très fugitif; il disparaît bientôt complètement avec l'élévation suffisante de la température, pour ne plus reparaître.

Spectre de flamme du sulfate de calcium. — Le sulfate calcique obtenu ainsi qu'il est dit dans la notice précédente, fournit dans le dard oxhydrique et oxycarbohydrique identiquement le même spectre que l'oxyde de calcium. Cette identité existe dès la fusion du sulfate et persiste après la dissociation du sel jusqu'à ce qu'il soit devenu infusible par la mise en liberté d'une quantité suffisante d'oxyde calcique. L'expérience est difficile à conduire sur le platine, parce que la température de dissociation est celle du point de fusion du platine qui se perce par le sulfate chauffé; mais elle réussit aisément en lançant le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique sur un cône de mousse d'iridium, placé sur une feuille de platine concave et recouvert complètement de sulfate calcaire fondu ou sur un cône de sulfate placé sur un lit de blanc d'iridium. A l'aide du produit de la dissociation du sulfate, j'ai aperçu la formation de la double raie calcique bleue, que j'ai mentionnée plus haut, sur un espace spectral fortement illuminé; l'état aggloméré du produit rend l'observation relativement facile.

Spectre de flamme du chlorure de calcium. — J'ai tenu à contrôler le spectre de l'oxyde pur en transformant celui-ci en chlorure. Dans la notice précédente, j'ai exposé le moyen auquel j'ai eu recours pour me procurer le chlorure de calcium employé en premier lieu.

Digitized by Google

Après avoir rougi suffisamment longtemps pour chasser le sodium apporté par l'air, une feuille mince et concave de platine contenant un cône de mousse d'iridium, j'ai versé sur le cône du chlorure de calcium en fusion, pour le mouiller complètement. J'ai fait passer ensuite sur le sommet du cône, la pointe du dard oxhydrique, dans lequel l'analyse prismatique ne permettait de voir que les traces très fugitives de la raie sodique D. Au moment même du contact, j'ai constaté l'apparition de la raie sodique d'une intensité remarquable, qui a été en diminuant jusqu'à ce qu'elle fût amenée aux traces fugitives observées dans le dard lancé dans l'air ambiant, ce qui s'est réalisé lorsque le chlorure fut dissocié au point d'être devenu un oxychlorure infusible à la température de la fusion du platine.

Si, au lieu de chauffer au dard oxhydrique le chlorure de calcium versé sur un cône en mousse d'iridium, on le fond sur une boucle en platine iridié, couverte d'iridium, ou sur un crochet en iridium allié à 20 °/₀ de platine, ou sur un petit cône de charbon de cornue purifié, terminant une aiguille de charbon, et que l'on introduit la boucle, le crochet ou le cône recouverts ainsi, dans l'enveloppe extérieure du dard oxhydrique ou oxycarbohydrique on constate immédiatement, par l'analyse prismatique, l'apparition de la raie sodique, *intense d'abord* et allant en s'affaiblissant jusqu'à ce qu'elle soit arrivée à l'état où on l'aperçoit dans le dard privé de chlorure.

Le spectre de l'*oxyde* de calcium présente une fixité de position remarquable. Depuis l'instant de sa formation sous le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique jusqu'à la température la plus élevée à laquelle on puisse atteindre par la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène, qu'il y ait plus ou moins de bandes ou plus ou moins de raies diffuses, que l'espace spectral soit *obscur* ou *illuminé* d'un spectre continu, on constate, pour les bandes ou pour les raies diffuses, une fixité de position complète. Il n'en est pas de même du spectre de flamme du *chlorure* calcique. Au moment du maximum d'intensité lumineuse, qui semble correspondre au spectre du chlorure lui-même, les bandes, quoique délimitées, sont très diffuses, quelle que soit l'étroitesse de la fente du spectroscope; elles m'ont paru dans un état permanent de légère *ondulation* jusqu'à la transformation complète du chlorure en chloroxyde ou en oxyde calcique, ou du moins jusqu'à ce que les gaz et

Digitized by Google

les vapeurs lancés dans l'air, eussent cessé de répandre l'odeur propre au chlorure calcique et à l'acide chlorhydrique pour la remplacer par l'odeur caractéristique de l'oxyde calcique.

A cause de l'état de dissociation dans lequel se trouve le chlorure calcique dans la flamme oxhydrique ou oxycarbohydrique, je considère l'emploi du dard incomparablement moins propre pour le chlorure que pour l'oxyde, et surtout pour l'oxyde *grenu*, à l'observation des raies caractéristiques du spectre de flamme du calcium et notamment à la mesure de la position de ses raies.

J'ai observé un grand nombre de fois qu'au moment de l'introduction du chlorure de calcium dans la partie du dard où la température était la plus élevée, le composé devenait *incandescent* et émettait une lumière *blanche*, devenant ensuite d'un blanc *bleuâtre*. La couleur calcique n'apparaissait dans le dard qu'à une distance assez considérable du point de l'introduction. Ce fait ne s'observe point en substituant au chlorure de calcium de l'oxyde ou du sulfate adhérents à une boucle de platine iridié, couverte d'iridium pur. En se servant d'oxyde provenant de la calcination de l'azotate calcique, la flamme est d'un rouge foncé brunâtre, couleur chocolat, dès l'instant où le composé est répandu, à l'état de vapeur, dans une partie quelconque de la flamme. Il semble donc que l'émission de la lumière d'un blanc bleuâtre soit concomitante de la dissociation du chlorure.

Pour me renseigner exactement sur la cause de l'apparition de la raie sodique avec le chlorure, j'ai répété les observations en substituant au dard du chalumeau successivement une étincelle et une décharge d'une bobine d'induction *sans* ou *avec* condensateur. J'ai constaté ainsi que la coloration de l'étincelle est proportionnée à la quantité de chlorure calcique répandue, et que la raie sodique apparait avec une intensité un peu moindre que par l'emploi du dard.

Cette raie a continué à se montrer avec la même intensité relative tant qu'ont duré les observations, et *plus fortement* que celle observée au même moment dans l'air ambiant, en substituant des sphéroïdes en platine pur *non couverts* aux sphéroïdes couverts de chlorure de calcium fondu, *anhydre* ou *mouillé* par une solution saturée de ce composé.

Digitized by Google

Il résulte incontestablement de ces observations que, pendant la transformation de l'oxyde en chlorure de calcium et j'ajouterai pendant l'expérimentation dans l'air sodique, il se fixe du sodium sur le composé produit, malgré les précautions extrêmes prises par moi. Je dois ajouter, pour être dans la vérité des faits, qu'au moment de l'exécution de ces recherches l'état de l'air laissait à désirer. La propriété hygrométrique du chlorure a contribué indubitablement à la fixation du sodium. J'ai constaté, en effet, qu'en évaporant de l'eau de condensation de l'air dans lequel je travaillais, recueillie sur la surface extérieure d'un vase de platine renfermant de la glace, on obtient un résidu contenant sensiblement du sodium. D'ailleurs, les faits dont il me reste à rendre compte prouveront que la présence du sodium est due *uniquement* à cette cause.

J'ai soumis à l'analyse prismatique une étincelle jaillissant de la surface d'une solution chlorhydrique de chlorure de calcium formée au sein de l'air pur, dans le tube d'expérimentation, à l'aide d'éléments privés de sodium.

Pour atteindre ce but, j'ai distillé d'une part, avec les plus grandes précautions, de l'acide chlorhydrique dilué au dixième dans un appareil de platine rempli au préalable d'air purifié. Après la distillation, le récipient a été fermé par un bouchon de platine, rodé sur sa tubulure.

L'analyse prismatique de la flamme d'un brûleur de Bunsen, dans laquelle j'ai laissé couler petit à petit, à l'aide d'un tube de platine, environ 1 centimètre cube de l'acide condensé, *n'a pas laissé apercevoir la raie sodique.*

D'autre part, j'ai préparé de l'oxyde calcique pur en lançant sur du carbonate calcique, déposé sur une feuille de platine récemment rougie, le dard aércarbohydrique jusqu'à ce que l'analyse prismatique du dard calcique ne permît plus d'apercevoir, dans l'espace spectral, trace de raie sodique. L'élimination complète du sodium accidentel étant effectuée, j'ai placé immédiatement la feuille de platine avec l'oxyde, sous une petite cloche de verre contenant de l'air purifié, à bords rodés et graissés, reposant sur un plan de verre dépoli et douci, et j'ai transporté le tout dans la vaste salle destinée à l'analyse spectroscopique.

Après avoir rougi à blanc une petite capsule de platine contenant un cône percé dont le sommet est de 2 millimètres environ plus bas que les bords de

Digitized by Google

la capsule, j'y ai versé une quantité suffisante de l'oxyde calcique, et j'ai posé la capsule avec l'oxyde sur le support à trois branches du petit appareil décrit page 29 de l'introduction, et destiné à la saturation d'une étincelle ou d'une décharge électrique d'une solution saline. J'ai aussitôt abaissé la capsule au fond du petit appareil, préalablement rempli d'air purifié. Pendant qu'un courant d'air purifié continuait à traverser l'appareil, j'ai versé, à l'aide d'un petit entonnoir de platine qui venait d'être rougi, de l'acide chlorhydrique distillé, en quantité suffisante pour transformer en chlorure l'oxyde calcique, rendre la solution convenablement acide et élever le liquide au niveau du cône percé. J'ai adapté ensuite à la partie supérieure de l'appareil le bouchon de caoutchouc naturel, muni de sa tige de platine, terminée en pointe, lavée et rougie à l'instant même.

Après avoir fait circuler de l'air purifié et saturé d'humidité dans l'appareil, j'ai interrompu le courant par la fermeture des robinets soudés au tube. En employant successivement le spectroscope à vision directe de Hilger, décrit dans l'introduction, et le spectroscope de Steinheil, j'ai soumis à l'analyse prismatique une étincelle d'induction non condensée, partant du sommet du cône de platine couvert de la solution calcique; vers la pointe de la tige de platine, longue de 2 à 4 millimètres, j'ai constaté l'*absence complète de la raie sodique D* dans l'espace spectral. Cet espace a été formé exclusivement ou du spectre électrique du calcium, ou du spectre électrique de ce corps auquel est venue s'ajouter la raie C de von Fraunhofer, caractéristique de l'hydrogène ou, à la fois, le spectre électrique du calcium, de la raie rouge de l'hydrogène et des raies atmosphériques, suivant la longueur de l'étincelle et de l'intensité des phénomènes électriques.

Ayant remplacé l'air contenu dans l'appareil par de l'hydrogène pur, j'ai constaté également l'*absence constante* de la raie sodique dans l'espace spectral observé. A côté du spectre électrique du calcium, M. Rommelaere et moi nous avons vu toujours la raie rouge de l'hydrogène; mais tous nos efforts ont été vains pour apercevoir les raies F, G et H de Fraunhofer appartenant également à l'hydrogène.

Ayant reconnu, par des observations spectroscopiques, l'état de pureté relative de l'air de la grande salle dans laquelle j'opérais, j'ai retiré de

Digitized by Google

l'appareil ci-dessus la capsule de platine avec le liquide calcique qui y était contenu, et j'ai introduit, à l'aide d'une *spire* de platine rougie à l'instant même, du liquide dans l'hydrogène pur en combustion dans l'air. L'analyse prismatique du dard rendu ainsi calcique, m'a permis d'apercevoir le *spectre de flamme* du chlorure de calcium privé *absolument* de la raie sodique. J'ai réitéré l'essai à plusieurs reprises, et toujours avec le même résultat.

J'ai fait transporter dans la grande salle consacrée aux observations spectroscopiques un petit bain-marie chauffé à l'aide d'un brûleur de Bunsen, et j'ai placé sur ce bain la capsule de platine contenant la solution chlorhydrique de chlorure de calcium. Pendant que l'évaporation s'effectuait, j'ai soumis par intervalles, de dix en dix minutes, à l'analyse prismatique, le liquide calcique en l'introduisant, à l'aide d'une spire de platine, dans le dard de l'hydrogène en combustion. Comme l'air de la grande salle était devenu de plus en plus sodique par suite de la présence de plusieurs personnes depuis plus d'une heure, j'ai jugé indispensable de me donner un terme de comparaison pendant l'analyse. A cet effet, j'ai disposé, le plus près possible du prisme attaché au collimateur, un second dard d'hydrogène enflammé, de manière que le spectre des deux dards vînt se superposer aussi exactement que faire se peut. En agissant ainsi, j'ai reconnu avec certitude que la solution, en s'évaporant, devient de plus en plus sodique, et bien avant qu'elle fût concentrée au point de se solidifier sur la spire de platine par le refroidissement, l'intensité colorante de la raie sodique fut plus grande que celle du chlorure de calcium préparé et fondu au contact de l'air ambiant.

J'ai tenu à vérifier les résultats qui précèdent en substituant une solution acide d'azotate à une solution chlorhydrique de chlorure calcique. A cet effet, j'ai produit cette solution avec de l'oxyde calcique privé de sodium et de l'acide azotique au dixième, distillé, recueilli et conservé dans le platine, en opérant identiquement de la même manière que pour l'obtention de la solution chlorhydrique de chlorure. J'ai reconnu ainsi que la solution acide d'azotate calcique, répandue dans l'étincelle ou dans la flamme, fournit à l'analyse prismatique un espace spectral absolument privé de la raie jaune sodique, et que cette solution, évaporée au bain-marie en présence de l'air

Digitized by Google

ambiant, enlève du sodium à l'air de la même manière que la solution chlorhydrique de chlorure calcique.

Ainsi il est prouvé, sans doute possible, que la présence du sodium dans le spectre de flamme et dans le spectre électrique du chlorure et de l'azotate calciques, préparés à l'aide d'éléments purs, mais en contact de l'air ambiant, est due au sodium existant dans cet air.

Spectre électrique du chlorure de calcium. — J'ai trouvé le spectre du chlorure, dans l'étincelle d'induction non condensée, identique à celui indiqué par M. Bunsen; il ne s'y trouvait *ni* plus ni moins de raies que celles inscrites par l'illustre chimiste de Heidelberg dans la planche qui accompagne son mémoire, pour le spectre de l'*étincelle*.

Pour ces recherches, je me suis servi successivement du spectroscope de Steinheil et du spectroscope de M. Duboscq muni de *trois* ou de *cinq* prismes. J'ai constaté cette identité en relevant une à une toutes les raies et la position de chacune d'elles. J'ai varié du *simple* au *quintuple* les conditions d'intensité lumineuse des étincelles. Les résultats, quant au *nombre* et à la *position* des raies calciques, sont restés les mêmes; il n'y a eu de changement que dans l'intensité de coloration des raies, de la *non-apparition* ou de l'apparition des raies atmosphériques.

En me servant d'une bobine avec condensateur donnant des étincelles de 15 centimètres de longueur réduites à la longueur de 3 millimètres par le rapprochement des sphéroïdes de platine enduits de chlorure de calcium fondu et mouillé ou non avec une solution saturée de ce composé, ou éclatant à la surface d'une solution acidulée et contenue dans l'appareil décrit page 29, je ne suis pas parvenu à découvrir la *double* raie bleue 148-149 du micromètre de mon spectroscope de Steinheil dans le spectre calcique de flamme, tandis que j'ai aperçu avec une intensité colorante très grande la *première raie bleue* à la même position qu'elle occupe dans le spectre de flamme. J'ose affirmer que la double raie bleue n'appartient pas au spectre électrique du calcium. Il est plus que douteux qu'elle constitue une des raies propres au spectre oxhydrique du calcium, quoique Sainte-Claire Deville, Debray et moi nous l'ayons constamment aperçue dans une cavité de chaux *pure* chauffée *au blanc* dans le chalumeau oxhydrique.

Digitized by Google

On le sait, le spectre de flamme et le spectre électrique donnés par M. Bunsen sont *différents*. Mes observations, suffisamment contrôlées à l'aide d'un spectroscope identique à celui de M. Bunsen, confirment cette différence. En effet, dans le dard du chalumeau oxhydrique de l'oxyde et du chlorure, et de l'oxychlorure calcique, on constate les bandes ou les raies vertes 52 à 53^d, 55 à 56^d du spectroscope de Steinheil et du spectroscope de M. Bunsen, et 60 à $61^d,5$ du spectroscope Steinheil, et 61,5 à $63^d,0$ du spectroscope de M. Bunsen. Ces bandes et ces raies font positivement défaut dans le spectre de l'étincelle chargée de chlorure dans une atmosphère d'hydrogène, et en revanche les raies 58^d, 68^d et $68^d,5$ du spectroscope de Steinheil, 59^d, 68^d et 71^d du spectroscope de M. Bunsen qu'on constate dans le spectre électrique, manquent absolument dans le spectre calcique du dard oxhydrique ou oxycarbohydrique, quelle que soit la partie de ce dard considérée.

Chaque spectre a sa physionomie à part, qu'on juge cette physionomie soit *isolément*, soit par *superposition*. Le spectre calcique *oxhydrique* est immutable, et malgré la communauté de certaines de ses bandes-raies et de certaine raie, il est irréductible au spectre calcique *électrique*.

Les observations qui précèdent et les conclusions que j'en ai déduites datent de sept à huit années, ainsi que je l'ai dit dans la notice précédente; depuis l'exécution et la rédaction de ces observations, j'ai repris la transformation de l'oxyde de calcium en chlorure, tant à l'abri de l'air par l'acide chlorhydrique gazeux pur et sec, qu'en présence de l'air par l'action de la chaleur sur un mélange d'oxyde de calcium et de chlorure d'ammonium purs. En exécutant toutes les opérations dans des vases de platine fermés, j'ai échoué dans les tentatives réitérées que j'ai faites pour me procurer des sphéroïdes de platine recouverts de chlorure de calcium fondu à l'air, ne donnant pas la raie sodique à l'analyse prismatique d'une étincelle jaillissant à l'air ou dans l'hydrogène.

Je me permets de renvoyer à la notice précédente le lecteur qui désire avoir des détails sur les faits.

J'ai profité de la possession d'échantillons de chlorure d'une pureté exceptionnelle pour en reprendre le spectre, tant dans le dard oxhydrique que de l'étincelle d'induction, en opérant soit dans l'air, soit dans une atmosphère d'hydrogène.

Digitized by Google

Dans le dard oxhydrique, j'ai retrouvé, en me servant des spectroscopes de Steinheil et de Duboscq, après la dissociation du chlorure et la transformation en chloroxyde, le spectre de flamme de l'oxyde calcique, sans la trace la plus fugitive de la raie sodique.

En faisant à l'aide du spectroscope de Duboscq muni de trois ou de cinq prismes, ou du grand spectroscope de M. Hilger, muni de trois prismes de spath, l'analyse de l'étincelle et de la décharge électriques chargées de chlorure dans une atmosphère d'hydrogène pur, j'ai constaté à nouveau la scrupuleuse exactitude des indications fournies par M. Bunsen.

Le spectre de flamme et le spectre électrique du chlorure de calcium se sont montrés différents par le *nombre* et la *position* des raies qui les composent.

Le spectre du dard oxhydrique calcique ne présente positivement qu'*une seule raie* à contours nets : la raie bleue $125^d,5$ du micromètre du spectroscope de Steinheil, 135^d du micromètre du spectroscope de M. Bunsen. Les autres raies sont constituées par des bandes en état plus ou moins avancé de résolution, mais ne sont pas susceptibles d'être résolues par les analyseurs dont j'ai pu disposer. Toutes les raies du spectre électrique sont à contours nets, sauf *deux* ou *trois au plus*. Celles qui font exception sont des raies diffuses en état de résolution, mais non susceptibles d'être résolues par les analyseurs employés.

Dans le but de m'assurer de la permanence du spectre électrique du calcium quant au nombre et à la position des raies, j'ai pris le parti d'étudier le spectre de l'arc calcique dans différentes conditions.

A cet effet, j'ai produit un arc électrique calcique à l'aide d'une batterie formée de *trente* éléments de Bunsen du plus grand modèle, en me servant d'électrodes cylindriques, de charbon de cornue purifié. L'électrod n égative, de 10 centimètres de longueur et de 5 millimètres de diamètre, était terminée en pointe qui était entourée d'oxychlorure de calcium fondu, préparé à l'instant même; l'électrode positive, de 10 centimètres de longueur et de 1 centimètre environ de diamètre, était terminée par une surface plane, dans laquelle on avait creusé une cavité. La surface plane était entourée, et la cavité était remplie d'oxychlorure de calcium préparé à l'instant même. Les électrodes, placées dans une *position verticale*, pénétraient à frottement dans de forts

Digitized by Google

anneaux de laiton *isolés*, se mouvant à crémaillère sur une colonne de verre verni.

Après avoir mis les électrodes en contact, j'ai fait jaillir l'arc en rougissant leur sommet et en fondant au dard aérhydrique l'oxychlorure de calcium. On a effectué les observations, d'une part, les électrodes couvertes d'oxychlorure étant en contact, et, d'autre part, les électrodes couvertes d'oxychlorure étant séparées par un intervalle formant l'arc.

Comme analyseurs, M. Rommelaere et moi nous avons employé successivement :

1° Le spectroscope de Steinheil; 2° le spectroscope de Duboscq, muni tantôt de trois, tantôt de cinq prismes; le grand spectroscope de M. Hilger, muni successivement de trois et de six prismes de spath d'Islande.

Quel qu'ait été le spectroscope employé, les résultats ont été les mêmes au point de vue du spectre calcique lorsque les électrodes étaient en *contact* ou lorsqu'elles étaient séparées, c'est-à-dire lorsque l'observation se faisait sur l'arc proprement dit.

L'analyse prismatique de la portion incandescente des électrodes en *contact* a fourni un espace spectral fortement illuminé d'un spectre continu, sillonné par des raies-bandes tellement diffuses qu'il était impossible de décider si l'on avait affaire à un spectre de flamme, ou à un spectre électrique, ou à un mélange des deux spectres. La raie bleue seule était d'une netteté parfaite de contours; les deux raies-bandes d'un rouge foncé et d'un rouge jaunâtre, non résolues, étaient telles qu'on les observe dans le spectre de la décharge.

En écartant les électrodes de manière à produire un *arc*, et en visant exclusivement le milieu de l'arc, j'ai constaté l'apparition d'un spectre continu, sillonné à la fois par le spectre électrique du calcium et le spectre du carbone à l'état de raies *fines*, résultant de la résolution des bandes carbonées; les contours des *deux raies rouges* calciques étaient diffus, mais moins que dans l'espace spectral provenant de l'analyse de la portion des électrodes en contact. Dans l'arc, l'intensité lumineuse est évidemment plus grande.

Je n'ai pas retrouvé dans le spectre de l'arc les deux raies bleues obser-

Digitized by Google

vées dans le spectre du *cône interne* du gaz oxhydrique et oxycarbohydrique calcique.

Ayant eu soin de faire porter, à l'aide d'une petite spatule de charbon de cornue purifié, du chlorure de calcium dans la cavité de l'électrode positive à mesure que le composé calcique se volatilisait, j'ai pu reproduire *à volonté* les deux espaces spectraux indiqués ci-dessus, et aussi longtemps qu'il a été nécessaire pour faire les observations en substituant des spectroscopes les uns aux autres.

Au moment de l'introduction du chlorure calcique dans l'arc, M. Rommelaere et moi, nous avons toujours aperçu la raie sodique D dans le spectre produit; mais au bout de quelques instants, la raie sodique D était à peine plus visible que dans l'arc privé de calcium et jaillissant dans l'air de la vaste salle dans laquelle j'opérais.

J'ai constaté que l'arc électrique *calcique* est tout à fait *bleu;* la périphérie de l'arc est d'un blanc éblouissant; mais au-dessus de l'arc on observe la couleur d'un brun foncé caractéristique des flammes des composés calciques purs, portés à haute température.

Pendant les observations je n'ai pas pu constater la présence des raies atmosphériques, même en écartant les électrodes au point de produire la rupture de l'arc.

En revisant, en collaboration de M. Depaire, les études spectroscopiques exposées ci-dessus, nous avons reconnu la parfaite exactitude de toutes les observations, tant pour le spectre de flamme calcique que pour le spectre électrique calcique.

Il est indubitable que le spectre de flamme et le spectre électrique du chlorure calcique sont différents, et qu'à l'aide des moyens et des forces actuellement connus, il est impossible de ramener le spectre de flamme au spectre électrique calcique.

Pour nous assurer de l'immutabilité du spectre électrique du calcium, M. Depaire et moi nous avons eu recours aux courants puissants, employés pour l'étude du spectre électrique du lithium.

Dans ce but nous avons produit successivement un arc électrique :

1° A l'aide d'une batterie de trente-trois boîtes d'accumulateurs Julien, donnant aux bornes de la lampe 10 ampères et 70 volts;

Digitized by Google

2° A l'aide d'un dynamo Gramme et d'un dynamo Siemens *accouplés*. Au lieu d'un régulateur Foucault, nous avons employé un régulateur Gerard, donnant un arc plus fixe que le premier.

Les électrodes en charbon de cornue purifié, enduits d'oxychlorure de calcium, étaient disposées identiquement de la même manière que celle décrite dans l'exposé des recherches sur l'arc électrique lithique.

L'un de nous s'est servi d'abord du spectroscope de M. Duboscq, identique à celui employé par M. Lecoq de Boisbaudran; ensuite du spectroscope de M. Hilger, à deux demi-prismes et lentilles de *quartz;* l'autre a employé le nouveau spectroscope à vision directe de MM. Liveing et Dewar, avec prismes de flint.

Après avoir mis les électrodes en contact et avoir établi le courant par la fusion, au chalumeau aérhydrique, de l'oxychlorure, nous avons constaté, tant avec le courant des accumulateurs, dont l'arc était de *neuf* millimètres de longueur sur *huit* millimètres de diamètre, qu'avec le courant des dynamos *accouplés,* dont l'arc était de *deux centimètres et demi* de longueur sur *huit* millimètres de diamètre, des espaces spectraux identiques à ceux observés avec le courant produit par les trente éléments de Bunsen; c'est-à-dire que l'analyse prismatique de l'illumination intense produite lors du contact des électrodes entourées de chlorure, a donné naissance à un spectre continu sur lequel s'est détaché un spectre calcique tellement diffus qu'il est impossible de le deméler, et que l'analyse de l'arc proprement dit a permis d'apercevoir un spectre continu, sur lequel se sont détachés à la fois le spectre calcique de la décharge électrique et le spectre carboné tel qu'on le voit dans l'arc jaillissant entre des électrodes de carbone pur. Dans l'un et l'autre cas les raies rouges sont diffuses, mais incomparablement moins dans le spectre de l'arc que dans le spectre observé lors du contact des électrodes. En augmentant encore considérablement la puissance du courant, on finirait probablement par résoudre complétement les raies diffuses en raies fines, tout en observant avec les mêmes analyseurs.

La raie sodique D a paru *constamment* dans le spectre du chlorure au moment du jaillissement de l'arc; mais, au bout de quelques instants, cette raie a diminué d'intensité pour n'apparaître ensuite que dans l'état où on la

Digitized by Google

voit dans l'arc jaillissant dans le même air, avec les mêmes électrodes préalablement chauffées à blanc.

Dans l'arc calcique produit par les deux dynamos accouplés et dont la longueur était de 2 $^1/_2$ centimètres, nous avons constaté la coloration bleue du fuseau, l'illumination blanche de la base de l'enveloppe de celui-ci et la coloration d'un brun-chocolat de la moitié supérieure de l'enveloppe du fuseau. Quoi qu'il en soit de la rapidité avec laquelle le chlorure de calcium enlève du sodium au milieu dans lequel on le produit ou on le conserve, il n'y a aucun rapport entre les spectres lumineux sodique, potassique, lithique et le spectre de flamme de l'oxyde et du chlorure calcique, et le spectre électrique de ce dernier chlorure.

Par une élévation de température, on ne peut pas ramener le spectre de flamme au spectre électrique, et réciproquement. Pour les conditions dans lesquelles mes recherches ont été faites, ces deux spectres sont immutables l'un dans l'autre; ils sont spécifiques et au même degré, dans les mêmes conditions que les spectres du sodium, du potassium et du lithium.

CHAPITRE VII.

Recherches chimiques sur le carbonate, l'azotate et le chlorure de strontium.

Le baryum, le calcium et le strontium sont intimement associés tant à l'état de carbonate que de sulfate. Le sodium est accidentel, ainsi que le silicium, le fer et le manganèse que l'on rencontre dans les sulfate et carbonate de strontium natifs. Après d'assez longs tâtonnements, j'ai procédé, ainsi que je vais le dire, à la préparation du carbonate de strontium privé de matières étrangères que j'ai employé ensuite à l'étude du spectre du strontium, ainsi qu'à la production de l'azotate et du chlorure de ce métal.

J'ai pris comme matière première du chlorure de strontium que j'avais au

Digitized by Google

préalable privé de fer et de manganèse, à l'aide d'une solution de sulfure de strontium, et qui avait subi ensuite cinq cristallisations successives, en écartant chaque fois l'eau mère, mais renfermant encore du baryum, du calcium, du sodium et de la silice.

Le chlorure cristallisé fut arrosé, dans la cucurbite d'une cornue de platine surmontée de son chapiteau, d'une solution de chlorure d'ammonium pur, séché et chauffé ensuite jusqu'à volatilisation de la majeure partie du sel ammoniac ajouté. Le résidu fut repris par de l'eau froide et la solution fut filtrée pour séparer la silice devenue insoluble. Le liquide limpide fut évaporé jusqu'à se prendre en masse, et le résidu mouillé de nouveau par une solution saturée de chlorure d'ammonium. Le tout fut séché à basse température, et le résidu fut chauffé encore au point d'émettre d'abondantes vapeurs de sel ammoniac. Le chlorure fut redissous dans l'eau froide, et la solution, quoique paraissant limpide, fut filtrée encore. Enfin on renouvela une troisième fois le traitement au sel ammoniac pour être certain d'avoir éliminé complètement la silice.

La solution de chlorure provenant de ce troisième traitement fut, après filtration au travers du papier purifié, additionnée de cinq fois son volume d'eau pure et versée dans de l'eau acidulée par 5 °/₀ de son volume d'acide sulfurique pur. Les sulfates de baryum, de calcium et de strontium, produits dans un liquide très dilué, étaient floconneux. Après six heures de repos dans un vase de platine, le liquide limpide surnageant fut décanté et remplacé par de l'eau pure, et l'on procéda au lavage jusqu'à ce que l'eau de décantation ne rougît plus le papier bleu de tournesol.

La masse des sulfates, contenue dans le vase de platine, a été mise ensuite en digestion, *à froid*, pendant *seize heures*, avec un excès de solution de carbonate ammoniacal d'ammonium, en ayant soin d'agiter, de temps à autre, les matières en présence; on a procédé alors au lavage par décantation de la masse insoluble, et on a poussé le lavage jusqu'à ce que l'eau décantée fût sans action sur le papier rouge de tournesol.

D'après ce qui est généralement admis, tout le baryum contenu dans le chlorure de strontium employé doit exister dans la masse insoluble à l'état de sulfate, tandis que les sulfates de strontium et de calcium doivent être

Digitized by Google

transformés en carbonates. Pour vérifier l'exactitude de ces faits, j'ai prélevé environ le dixième de la masse, et, après l'avoir suspendu dans de l'eau, j'ai ajouté goutte à goutte de l'acide chlorhydrique en prenant la précaution de ne pas attaquer tout le carbonate mêlé au sulfate de baryum. La solution de chlorure était trouble et ne passait pas limpide au travers du filtre. J'ai été obligé de l'abandonner à l'éclaircissement spontané, ce qui a été long à se réaliser. Lorsque le but a été atteint, on a filtré le liquide qui avait déposé du carbonate tenu en dissolution par l'anhydride carbonique, et on l'a versé de nouveau dans de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique. Le sulfate produit, soigneusement lavé par décantation, a été traité à froid par un excès de solution de carbonate ammoniacal d'ammonium. Après douze heures d'attaque, l'eau mère, quoique trouble, a été décantée, et l'on a procédé au lavage jusqu'à ce que l'eau de décantation, toujours légèrement trouble, fût absolument sans action sur le papier rouge de tournesol. J'ai suspendu ensuite le carbonate dans l'eau et j'ai ajouté petit à petit de l'acide azotique pur, jusqu'à ce que la presque totalité de la masse fût dissoute. La solution d'azotate, trouble par le carbonate en suspension, fut abandonnée à l'éclaircissement spontané, et le liquide fut décanté et filtré. J'ai attaqué ensuite à l'eau très faiblement acidulée par de l'acide azotique, le restant du carbonate, et *il s'y est dissous en produisant un liquide limpide.*

Ainsi, le baryum existe exclusivement à l'état de sulfate dans le résidu de l'attaque *à froid* d'un mélange des sulfates de baryum, de calcium et de strontium par le carbonate biammonique. En ayant soin de ne pas attaquer tout le carbonate contenu dans ce mélange, on est certain de ne pas dissoudre du sulfate de baryum.

Après avoir reconnu ce fait, j'ai transformé à froid, en azotate, la masse des carbonates de strontium et de calcium restée dans le vase de platine, en ayant la précaution de laisser au moins le dixième des carbonates inattaqué. La solution obtenue était fort trouble et n'a pas passé limpide au travers du filtre. Elle fut donc abandonnée à l'éclaircissement spontané et filtrée ensuite, ce qui ne s'est réalisé que lentement. J'ai ajouté au liquide limpide la solution d'azotate de strontium obtenue en premier lieu, et j'ai évaporé le tout à l'ébullition jusqu'à siccité complète dans la cucurbite de la cornue de platine recouverte de son chapiteau.

Digitized by Google

L'azotate séché était en petits cristaux. J'ai traité à froid d'abord, à l'ébullition ensuite, la masse par de l'alcool anhydre; j'ai renouvelé le traitement tant qu'il s'est dissous de l'azotate de calcium. J'ai repris ensuite le résidu par de l'eau pure; la solution, n'étant pas limpide, a été filtrée. Elle a laissé un très faible précipité blanc formé en entier par un mélange de carbonate de strontium et de calcium, qui a été écarté. La solution a été de nouveau évaporée jusqu'à siccité, et l'azotate en poudre cristalline a été traité à l'ébullition par de l'alcool anhydre. Il a fallu renouveler à *sept reprises* la dissolution dans l'eau, l'évaporation à siccité et le traitement à l'alcool anhydre bouillant pour enlever complètement les traces d'azotate de calcium, retenu opiniâtrément par l'azotate de strontium. Avant d'en avoir fait l'expérience, je ne me faisais aucune idée de la difficulté que j'éprouverais à éloigner absolument le calcium. Je n'ai considéré comme complète l'élimination du calcium que lorsque le résidu de l'évaporation à *siccité* de la solution aqueuse d'azotate de strontium, traité directement par de l'alcool anhydre bouillant, eut fourni une solution alcoolique de ce sel; il m'a été impossible de constater la présence du calcium dans cette solution. Pour faire l'essai, j'ai évaporé à siccité 100 centimètres cubes de la solution alcoolique saturée à l'ébullition, et j'ai cherché le calcium dans le très faible résidu. A cet effet, j'ai traité celui-ci d'abord par un mélange à volumes égaux d'alcool et d'éther anhydres, et, après l'avoir ainsi épuisé, j'ai évaporé le liquide dans le platine, puis soumis au dard oxhydrique les traces laissées par l'évaporation du liquide et le résidu épuisé pour constater le spectre du dard.

Je ne crains pas de dire que la séparation complète du strontium et du calcium à l'état d'azotate, constitue l'opération la plus difficile à exécuter que je connaisse. Du reste j'ai tenu à contrôler l'état de pureté de l'azotate, ainsi que je le dirai plus loin.

L'azotate de strontium privé de sel de calcium par l'acool bouillant contient notablement de sodium qu'on ne parvient à éliminer qu'en transformant le strontium en carbonate. Mais l'azotate se prête mal à la préparation du carbonate. Lorsque ce sel provient de l'azotate, il est toujours plus ou moins grenu, comme c'est le cas du sulfate de baryum, qui retient de l'azotate,

Digitized by Google

quelque prolongés qu'aient été les lavages, et si, à l'état grenu, le carbonate de strontium se lave facilement, en revanche il retient opiniâtrément le sodium.

J'ai donc commencé par transformer l'azotate en carbonate tel quel, en versant la solution diluée de ce sel dans un excès de solution de carbonate ammoniacal d'ammonium, et après un lavage aussi complet que possible du carbonate grenu, je l'ai repris par de l'acide chlorhydrique dilué.

Voulant m'assurer si ce chlorure de strontium était absolument privé de calcium, j'ai évaporé à *siccité*, dans la cornue de platine, toute la solution, et j'ai traité le résidu déshydraté, qui était en poudre cristalline, à cinq reprises par de l'alcool anhydre bouillant, lui appliquant ainsi le mode de séparation du calcium institué par M. Bunsen. J'ai cherché avec les soins nécessaires le calcium, d'une part, dans le chlorure déposé par le refroidissement de l'alcool bouillant décanté, et d'autre part, dans le résidu de l'évaporation de cet alcool, après le dépôt de chlorure. J'ai été impuissant à constater, à l'aide de l'analyse prismatique du dard oxhydrique lancé sur ces chlorures, trace du spectre calcique et notamment de sa raie *verte*, qui ne fait jamais défaut lorsque le chlorure de strontium contient une quantité pondérable de calcium.

Après avoir constaté ce résultat négatif, j'ai repris tout le chlorure de strontium par de l'eau et j'ai versé la solution diluée dans un excès de solution de carbonate ammoniacal d'ammonium. Produit dans ces conditions, le carbonate de strontium est d'une ténuité extrême; il rend l'eau laiteuse. J'ai été obligé d'abandonner, à l'abri de l'air, le liquide à l'éclaircissement spontané, qui a été fort lent à se faire.

J'ai procédé par décantation au lavage du carbonate, ce qui a exigé trois mois pour être terminé en opérant sur environ 200 grammes de carbonate. Je ne me suis arrêté que lorsque l'eau décantée eut cessé de troubler une solution diluée d'azotate acide d'argent.

Sous cet état, le carbonate de strontium introduit au bout d'une boucle en platine dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, lui communique une coloration jaune très intense et fournit fort longtemps le spectre sodique.

On ne peut pas recourir à des dissolutions dans l'acide chlorhydrique, et

Digitized by Google

quant à des précipitations successives par le carbonate ammoniacal d'ammonium, des années ne suffiraient pas pour l'élimination de tout le sodium susceptible d'être enlevé ainsi. Du reste, en opérant de cette manière, on serait exposé à amener par l'air autant de sodium que le traitement institué pourrait en éliminer du carbonate. J'ai donc eu recours à la méthode qui réussit si bien pour priver de sodium les carbonates de lithium et de calcium précipités dans des conditions identiques, c'est-à-dire à l'attaque du carbonate de strontium par de l'eau chargée d'anhydride carbonique. A cet effet, j'ai suspendu le carbonate dans 4 litres d'eau pure, au travers de laquelle on avait fait passer lentement de l'anhydride carbonique jusqu'à refus. Après une nuit de repos, le liquide, encore trouble, a été décanté dans un vase de platine et remplacé par un volume égal d'eau pure. On a fait passer de nouveau pendant vingt-quatre heures de l'anhydride carbonique. On a répété ces opérations à cinq reprises différentes; puis on a tenu le carbonate en suspension dans de l'eau en ébullition, tant que le liquide reposé communiqua à la flamme le moindre caractère sodique.

Les liquides chargés de carbonate de strontium dans l'anhydride carbonique furent séparément soumis à l'ébullition dans le platine, pour déterminer le dépôt du carbonate par le dégagement de l'anhydride. Après l'ébullition, l'eau des trois premiers traitements, évaporée convenablement, a coloré sensiblement la flamme en jaune; l'eau mère du quatrième et du cinquième traitement n'a plus communiqué à la flamme le caractère sodique. Le carbonate de strontium déposé par suite de l'élimination de l'anhydride carbonique introduit dans la flamme lui a imprimé le caractère sodique pour tous, mais d'une manière de moins en moins prononcée, du premier jusqu'au cinquième dépôt. Dans le troisième dépôt, la quantité de sodium était assez réduite pour que, chauffée dans le dard oxhydrique, on pût obtenir de l'oxyde de strontium dépouillé complètement de sodium, ce qui m'a été impossible de réaliser avec les deux premiers dépôts.

La masse de carbonate de strontium épuisée de sodium par l'eau chargée d'anhydride carbonique, et ensuite par de l'*eau bouillante*, portée dans la flamme au bout d'une boucle en platine, lui a communiqué le caractère sodique d'une manière très fugitive et pas plus fortement que du platine

Digitized by Google

qui a été abandonné une heure à l'air, sous une cloche, après avoir été rougi.

Après en avoir fait l'essai, la masse de carbonate a été séchée dans le vase de platine, à l'abri des poussières de l'atmosphère; elle a été conservée ensuite, sous une cloche, dans un vase de platine couvert. Après quelques semaines de conservation, le carbonate a communiqué à la flamme le caractère sodique, *comme s'il n'avait jamais été purifié !*

J'ai transformé en azotate solide une petite quantité de carbonate privé de sodium au dard oxhydrique, et j'ai mêlé une partie de ce sel à deux parties du même carbonate, privé préalablement, au chalumeau oxhydrique, de tout caractère sodique. Ce mélange, placé en tas conique, sur un lit d'oxyde de strontium pur, m'a servi à étudier le spectre lumineux de l'oxyde *cohérent* de strontium, d'un maniement beaucoup plus facile que l'oxyde qui provient de la dissociation du carbonate seul, sous l'influence du dard oxhydrique.

J'ai produit du chlorure de strontium à l'aide de l'oxyde du carbonate et du chlorure d'ammonium pur. A cet effet, après avoir rougi au blanc un petit creuset de platine pur, j'ai déposé au fond du creuset un lit de chlorure d'ammonium pur, *formé dans le platine,* et j'ai versé par-dessus un mélange d'oxyde de strontium et du même chlorure d'ammonium. J'ai couvert le creuset et je l'ai enfermé dans un second creuset de platine également couvert; on a chauffé ensuite lentement le système et enfin assez fortement pour faire cesser tout dégagement du chlorure d'ammonium employé en grand excès; toutefois la chaleur n'a pas été assez élevée pour fondre le chlorure.

Porté immédiatement après sa production dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, ou sous le dard oxhydrique, le chlorure a communiqué à ces flammes le caractère sodique, mais d'une manière très faible. Toutefois, la raie sodique n'a complètement disparu que lorsque le chlorure se fut transformé presque entièrement en oxychlorure très basique. Quoique le spectre sodique se soit montré, il y a cependant une différence fondamentale entre la manière de se comporter du chlorure de strontium très peu hygrométrique, et les chlorures de lithium et de calcium, qui, immédiate-

Digitized by Google

ment après leur préparation, fournissent des indices persistants et intenses de la présence du sodium.

Ayant rencontré des difficultés extrêmes à préparer des composés de strontium ne fournissant, à l'analyse prismatique, aucune trace des raies calciques, et notamment de la raie verte du calcium, je me suis adressé, par personne interposée, à ceux qui préparent des métaux et des sels pour l'usage de la spectroscopie. Je dois avouer que, sans exception aucune, tout le chlorure de strontium qui m'a été fourni ainsi renfermait du calcium que je suis parvenu à en séparer analytiquement. Je fais cette déclaration, non pour accuser les fabricants de produits chimiques, mais pour excuser les erreurs dans lesquelles sont exposés à tomber ceux qui sont obligés d'emprunter au commerce les agents chimiques qu'ils ne sauraient préparer eux-mêmes ou dont ils ne pourraient constater analytiquement la pureté absolue.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

Caractères imprimés aux flammes et à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques par les composés du strontium.

Spectres lumineux du strontium. — Dans ces recherches, j'ai eu pour but de m'assurer si l'on peut se procurer un composé de strontium qui, répandu à la température la plus élevée possible dans une flamme ou dans l'étincelle, la décharge ou l'arc électrique, ne fournit pas à l'analyse prismatique des indices certains du spectre du sodium, du potassium, du lithium, du calcium et du baryum.

Pour obtenir de l'oxyde de strontium, je suis parti du carbonate purifié, ainsi qu'il est dit dans la notice précédente. Je crois devoir prévenir ceux qui seraient tentés de reprendre ce sujet qu'ils rencontreront des difficultés extrêmes pour se procurer du carbonate de strontium privé complètement de carbonate de calcium. Du reste, les variations constatées par mon illustre maître Dumas lors de ses travaux sur le poids atomique du strontium, démontrent avec certitude combien est extrême la difficulté de séparer absolument le baryum et le calcium que l'on rencontre si intimement associés aux chlorure, azotate et carbonate de strontium. La nécessité d'opérer une séparation absolue est d'autant plus grande que, dans des *conditions données,* le spectre de flamme du strontium présente des *raies vertes* qui peuvent faire croire à l'existence soit du calcium, soit du baryum dans le composé soumis à l'essai.

La réduction du carbonate en hydroxyde de strontium a été effectuée de la même manière et dans les mêmes conditions que celle du carbonate en oxyde de calcium. La décarbonatation, quoique plus lente, s'effectue toutefois si l'on a soin de l'opérer à l'aide d'un dard oxhydrique avec excès d'hydro-

Digitized by Google

gène, et de chauffer avec la partie du dard où la température est suffisante pour fondre le platine.

En agissant ainsi, lors même qu'on ait pris toutes les précautions possibles pour soustraire le carbonate de strontium le mieux purifié aux poussières sodiques de l'air, dès que sa température est portée au rouge, le dard oxhydrique se colore en *jaune* et la raie sodique apparait avec une intensité très grande, lorsque le carbonate a eu longtemps le contact de l'air. Cependant, avec une attention et des soins persévérants, on parvient, après un temps de chauffe variable, mais compris entre *quinze* et *vingt* minutes, et après avoir volatilisé la moitié au moins de l'hydroxyde produit, à éliminer le sodium au point de ne plus découvrir dans le dard, par l'analyse prismatique, que des traces très fugitives de la raie sodique.

J'ai fait un grand nombre d'essais dans le but de m'assurer si on peut voir le spectre du strontium sans la raie sodique, et il ne m'a été donné que *deux fois* de l'apercevoir ainsi. J'ai eu cette chance en opérant dans de l'air pur, ou plutôt lorsque l'analyse prismatique du dard oxhydrique ne me donnait aucun indice de la raie sodique, et que pour maintenir à l'air sa pureté relative, j'avais eu la précaution d'effectuer l'avant-veille la décarbonatation et l'élimination du sodium de l'hydroxyde de strontium que je voulais soumettre à l'expérimentation et que la veille j'avais fait laver à grande eau le sol et les bancs de la salle.

Je crois devoir ajouter que l'élimination du sodium au point de ne plus fournir la raie sodique d'une manière plus forte qu'elle apparait généralement dans le dard oxhydrique lancé dans l'air, est une opération délicate à exécuter, et qu'on n'y réussit souvent qu'en perçant par fusion la plaque concave en platine sur laquelle se répand l'hydroxyde fondu.

Quoi qu'il en soit de cette difficulté, en réunissant en tas conique sur une autre feuille de platine concave et rougie à blanc l'hydroxyde aussi privé que possible de sodium et en fondant dans l'hydrogène porté à l'incandescence tout le tas pour éliminer le plus possible le sodium, il arrive un instant où l'on aperçoit le spectre splendide du strontium sans trace de raie sodique, si l'air ne donne pas au même moment ce dernier spectre; au cas contraire, la raie sodique se voit dans le spectre du

Digitized by Google

strontium à peu près de la même manière que dans le dard oxhydrique lancé dans l'air. Lorsqu'on a la chance d'avoir de l'air pur, ce qui, je le répète, ne m'est arrivé que deux fois pendant les six mois qu'a duré en dernier lieu mon travail sur le strontium, l'observation attentive m'a permis de constater des alternances dans l'apparition et la disparition de la raie sodique.

Si, après avoir privé de sodium, par le dard oxhydrique, les couches superficielles de l'hydroxyde de strontium fondu, on vient à les volatiliser et à entamer ensuite les couches plus profondes, on voit apparaître de nouveau la raie sodique pour disparaître encore. J'ai pu, un jour, produire ces alternances qui se font par degré insensible d'intensité, en volatilisant au dard oxycarbohydrique plusieurs grammes d'hydroxyde de strontium pur.

Cet hydroxyde privé de sodium, abandonné sous une cloche pendant douze heures à l'air, et porté ensuite sous le dard oxhydrique, laisse apercevoir le spectre sodique absolument comme le platine, l'argent, l'oxyde de lithium et l'oxyde de calcium qui ont eu le contact de l'air.

Le dard du chalumeau oxhydrique prend une coloration d'un *rouge pourpre très foncé* en passant sur l'hydroxyde pur fondu. A la température voisine de la fusion de l'iridium, la couleur pourpre est remplacée par une illumination d'un *bleu plus foncé* que celle de l'hydrogène porté à l'incandescence.

De sorte qu'en introduisant, à l'aide d'un petit cône de charbon de cornue, de l'hydroxyde dans le *cône interne* du dard oxhydrique, on aperçoit une illumination d'un *bleu intense* au point d'immersion et une *coloration pourpre* dans le restant du dard.

L'hydroxyde fondu et surtout sa vapeur attaquent sensiblement le platine en le noircissant. Sa vapeur rend l'air caustique pour la respiration, mais moins que la vapeur d'oxyde de calcium. Par le repos, l'air se dépouille plus rapidement du strontium que du calcium et du lithium répandus. Lors même que j'y avais jeté des torrents d'oxyde de strontium, ce qui a été souvent le cas, trois ou quatre heures après, il m'était impossible de trouver dans la flamme du dard oxhydrique la moindre trace du spectre du

Digitized by Google

strontium. Il est nécessaire de laisser l'air au repos pendant au moins dix-huit heures, pour ne plus pouvoir y constater la présence du calcium et du lithium qui y ont été abondamment volatilisés, comme j'ai été obligé de le faire lors de mes investigations. La dissémination de l'oxyde lithique est telle que, plusieurs heures après la fin de mes opérations, les flammes des brûleurs fonctionnant dans une place adjacente à la salle où je travaillais, présentaient encore une coloration lithique très prononcée.

Spectre de flamme du strontium. — J'arrive au spectre de flamme du strontium. Dans son remarquable livre sur l'analyse spectrale, M. Roscoe a donné du spectre du chlorure de strontium, déterminé par MM. Bunsen et Kirchhoff, une image tellement exacte qu'elle ne saurait être dépassée par aucune description. Observé dans la flamme de l'hydrogène ou du gaz de l'éclairage, ce spectre se compose d'un espace obscur sillonné par six bandes rouges, une bande orangée, toutes nettement séparées si la fente du collimateur est suffisamment rétrécie, et *une* raie bleue.

L'oxyde ou l'hydroxyde de strontium répandu dans le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique, à une température inférieure à celle du point de fusion du platine, produit un spectre identique à celui décrit ci-dessus. Mais en opérant l'analyse prismatique du dard chauffé près du point de fusion du platine, on constate, en rétrécissant convenablement la fente du collimateur, que les six bandes rouges et la bande orangée se transforment en raies dont toutefois *les contours restent diffus et nébuleux,* c'est-à-dire qu'elles manquent de la netteté qu'on observe pour la raie bleue et surtout pour les raies produites à l'aide de l'étincelle électrique chargée de chlorure anhydre ou hydraté de strontium. Le spectre de bandes délimitées conserve toujours quelque chose de spécifique.

On peut volatiliser complètement dans le dard oxhydrique ou oxycarbohydrique tout l'oxyde ou l'hydroxyde de strontium pur soumis à l'essai sans observer l'apparition d'autres raies dans l'espace spectral *obscur,* en prenant la précaution de ne soumettre à l'analyse prismatique que la partie du dard saturé de strontium où l'hydrogène n'est pas porté à l'incandescence, et qui partant est dépourvue de spectre continu.

Digitized by Google

Lorsque l'observation s'effectue sur une partie plus rapprochée du cône interne, et à plus forte raison sur le cône interne lui-même, du dard saturé de strontium, l'espace spectral se modifie : on constate alors avec le gaz oxhydrique une bande obscure de A près de D, sillonnée par les sept bandes rouges et une forte raie orangée diffuse, et une illumination verte de D à F. Cette illumination laisse apercevoir *trois* et quelquefois *quatre* raies *vertes*. Il en est de même en se servant du dard oxycarbohydrique. La teinte de ces raies *vertes* est tout autre que celle des raies du calcium ou du baryum, et est identique à la teinte des raies vertes du spectre fourni par l'analyse prismatique du cône interne lumineux du gaz oxycarbohydrique lui-même, que j'ai décrit dans l'introduction de ce mémoire.

Quels qu'aient été mes efforts pour apercevoir les deux raies d'un bleu violacé $136^d,5$ et $150^d,5$ du micromètre du spectroscope de M. Bunsen pour le spectre du chlorure dans l'étincelle, je ne suis pas parvenu à les retrouver. J'ai constaté, au contraire, que l'introduction de l'hydroxyde de strontium dans le cône interne lumineux du dard *oxycarbohydrique* éteint immédiatement les deux bandes bleues et la raie bleue que l'analyse prismatique de ce cône oxycarbohydrique permet d'observer. Dans ce cas, l'espace spectral se compose de six raies rouges et une raie très forte orangée, diffuses, sur fond obscur et propres au strontium; de deux bandes vertes sur fond lumineux, formées de trois et quelquefois quatre raies fines dégradées de gauche à droite, et enfin de la raie bleue du strontium sur *fond obscur*.

Dans le but de m'assurer d'une part si les raies vertes constatées appartiennent réellement au spectre de flamme de l'hydroxyde de strontium, et d'autre part si l'absence de deux nouvelles raies d'un bleu violacé 136,5 et 150,5 signalées par M. Bunsen dans le spectre de l'étincelle, doivent être attribuées à la méthode d'investigation employée par moi, c'est-à-dire *au dard oxhydrique*, ou à une différence de produit, j'ai pris le parti d'étudier le spectre du chlorure de strontium tant dans le dard oxhydrique et dans le dard oxycarbonique que dans l'étincelle, la décharge et l'arc électriques.

Le dard oxhydrique où l'hydrogène n'est pas rendu incandescent, lancé sur du chlorure de strontium, fournit, par l'analyse prismatique, un spectre

Digitized by Google

identique à celui qu'on observe dans l'hydrogène ou dans la flamme de la lampe de Bunsen brûlant dans l'air. En rétrécissant convenablement la fente du collimateur, les bandes prennent la forme de raies à bords très diffus et nébuleux. On remarque, pour les bandes ou pour les raies, le même mouvement ondulatoire que celui que l'on constate avec le chlorure de calcium chauffé dans les mêmes conditions. Ce mouvement ondulatoire dure tant que le chlorure n'est pas complètement dissocié.

Le chlorure de strontium *anhydre* introduit, à l'aide d'un petit cône de charbon de cornue purifié, dans le dard oxhydrique où le rhodium et l'iridium sont en pleine fusion, produit une flamme *blanche au centre, bleue au milieu*, et *rouge foncé à la périphérie*, dans laquelle l'analyse prismatique laisse apercevoir les *six* bandes rouges presque confondues en une seule. Ces bandes n'apparaissent sous forme de raies à bords très diffus, qu'après la dissociation du chlorure et sa transformation en hydroxyde ou oxychlorure de strontium.

En même temps qu'on voit les bandes rouges confondues, on constate la forte bande orangée parfaitement séparée et *trois* ou *quatre* raies vertes dégradées de droite à gauche, et *une seule raie bleue. Tous mes efforts pour faire* APPARAITRE *ou du moins pour* APERCEVOIR *au même moment les deux raies d'un bleu violacé pâle, signalées par M. Bunsen pour le spectre électrique, ont été infructueux.*

Il n'en est pas de même des essais exécutés par l'analyse prismatique de l'étincelle ou de la décharge d'une bobine d'induction sans ou avec condensateur, chargée de chlorure ou d'hydroxyde provenant de sa dissociation. Pour ces recherches, je me suis servi successivement du spectroscope de Steinheil, du grand spectroscope de M. Hilger, muni alternativement de trois ou de six prismes en spath, du spectroscope à deux demi-prismes de quartz construit par M. Hilger pour M. Depaire, et du spectroscope à vision directe que MM. Liveing et Dewar ont bien voulu faire construire pour moi par M. Hilger.

Pour les observations, j'ai employé d'abord des sphéroïdes de platine et ensuite de petits cônes de charbon de cornue purifié, enveloppés soit de chlorure, soit d'oxychlorure, soit d'hydroxyde de strontium. Ces composés,

Digitized by Google

en se réduisant en vapeur dans l'étincelle d'induction ou dans la décharge, impriment à celles-ci une coloration d'un *bleu foncé* et fournissent à l'analyse prismatique des raies *longues et complètes*. Ayant constaté la variation du nombre et de l'éclat des raies atmosphériques suivant la distance des sphéroïdes *enveloppés*, j'ai remplacé ceux-ci par des sphéroïdes de platine pur fixés à *un demi*-centimètre l'un de l'autre, les bobines donnant des étincelles de *cinq*, de *quinze*, de *quarante-cinq* centimètres.

Après avoir constaté, à cette distance invariable, la *constance*, le *nombre* et la *position* des raies atmosphériques, j'ai mouillé ces sphéroïdes à l'aide d'une boucle en fil de platine enduite d'une pâte assez liquide de chlorure de strontium privé absolument de calcium et de baryum, cristallisé et dissous, ou je les ai enduits simplement d'une solution saturée d'hydroxyde de strontium du chlorure ou du carbonate dissocié au gaz oxhydrique. J'ai constaté ainsi que, *déduction faite des raies atmosphériques*, le spectre de l'étincelle d'induction *faible* ou *forte* et de la décharge, chargée de chlorure ou d'hydroxyde, est identique au spectre du chlorure dans l'étincelle, tel que M. Bunsen l'a indiqué dans le tableau VI, n° 8, de son mémoire : *Spectral analytische Untersuchungen*, y compris les deux dernières raies d'un bleu violacé pâle inscrites aux n°s 136,5 et 150,25 du micromètre de son spectroscope, et n°s 126,5 et 138,5 du micromètre de mon spectroscope de Steinheil.

L'analyse prismatique de la *décharge* d'une bobine de Ruhmkorff, donnant des étincelles de quarante-cinq centimètres de longueur, entre des sphéroïdes de platine ou des cônes de charbon purifié enveloppés de chlorure ou d'hydroxyde de strontium, ou les mêmes sphéroïdes ou cônes mouillés de la solution saturée de ces composés, a permis de reconnaître, avec les nombreuses et inévitables raies atmosphériques, exclusivement les mêmes raies observées avec une étincelle faible ou forte.

Ces investigations m'ont convaincu qu'il n'y a aucun avantage à exagérer la puissance des effets électriques de l'étincelle. Au point de vue du nombre de raies, il n'y a aucune différence entre le spectre du chlorure ou de l'hydroxyde de strontium, d'une étincelle de *cinq*, de *quinze* ou de *quarante-cinq* centimètres, réduite respectivement à *un demi*-centimètre par le

Digitized by Google

rapprochement des sphéroïdes ou des cônes enduits. Seulement l'intensité lumineuse et la *coloration* des raies et, partant, leur visibilité s'accentuent avec la puissance électrique. La physionomie du spectre strontianique ne varie plus dès l'instant de l'apparition des raies caractéristiques du strontium dans l'étincelle, et la difficulté de l'observation et la fatigue pour les yeux qui en résulte s'accroissent avec l'apparition d'un plus grand nombre de raies atmosphériques.

Dans l'arc électrique produit par *trente éléments de Bunsen du plus grand modèle,* entre des électrodes de carbone pur en contact et enduits de chlorure ou d'hydroxyde fondu, on observe identiquement les mêmes raies que celles constatées dans la décharge, avec cette différence toutefois que, dans le spectre de l'arc strontianique, on n'aperçoit pas les raies atmosphériques qui rendent si difficile et si pénible l'observation du spectre de la décharge.

M. Bunsen a constaté la *communauté* des bandes et des raies suivantes du spectre de flamme et du spectre électrique :

Spectre de flamme.		Spectre électrique.	
Bunsen.	Stas.	Bunsen.	Stas.
36 à 37	37 à 38	36 à 37	36 à 38
39	40	39	40
47	47	47	47
105.5	98.5	105.5	98.5

J'ai reconnu la *communauté* des mêmes bandes et des mêmes raies. Je me suis assuré, de plus, qu'au delà du point de fusion du platine, l'hydroxyde du carbonate et du chlorure de strontium présente, dans le spectre de flamme, trois et quelquefois quatre raies vertes *communes au spectre du chlorure* et de l'hydroxyde dans l'étincelle et dans l'arc. Ces raies vertes manquent absolument au spectre de flamme dans laquelle l'hydrogène n'est pas porté à l'incandescence.

La *forte* bande 31 à 34 du micromètre du spectroscope de M. Bunsen du spectre de flamme n'a apparu dans mes recherches qu'à l'état rudimentaire dans le spectre électrique, quel qu'ait été le degré d'intensité de

Digitized by Google

l'étincelle ou de l'arc, et inversement il m'a été impossible de provoquer dans le spectre du dard oxhydrique l'apparition de la raie 89,75 que M. Bunsen indique dans le spectre de l'étincelle, et que j'ai constamment retrouvée dans ce même spectre tant avec le chlorure qu'avec l'hydroxyde de strontium à la division 85 de l'échelle du micromètre de mon spectroscope de Steinheil.

Le spectre de flamme du strontium est fonction de la température. Sa physionomie est différente dans l'hydrogène brûlant dans l'air et dans l'hydrogène porté à la plus vive incandescence. L'un et l'autre de ces spectres sont typiques, mais peuvent être ramenés l'un à l'autre par le changement de condition de la température.

J'ai complètement échoué dans tous les efforts que j'ai faits pour amener l'un ou l'autre au spectre électrique. Le spectre de flamme, incomplet ou complété, conserve, quoi qu'on fasse, son facies propre. Certaines bandes qui le constituent peuvent bien être réduites à un état voisin de raies, mais les bords de ces raies restent diffus et nébuleux : la bande orangée résiste le plus fortement.

Le spectre électrique du chlorure et de l'hydroxyde de strontium présente des raies communes avec le spectre de flamme des mêmes corps. Ce spectre est immuable et, partant, irréductible soit à l'un soit à l'autre spectre de flamme du strontium.

Mes recherches tendent à prouver l'existence de trois types distincts du spectre du strontium. Le second type du spectre de flamme se montre comme un acheminement vers le spectre de l'étincelle et de l'arc; mais mes efforts ont été impuissants pour réaliser cette transformation. Jusqu'à preuve du contraire, je dois considérer comme différents les spectres de flamme et le spectre électrique du strontium.

Je ne suis pas parvenu à me procurer du chlorure de strontium qui, introduit dans l'étincelle, ne donne aucune trace de raie sodique; mais l'hydroxyde provenant de la dissociation, porté immédiatement après sa production dans l'étincelle ou dans l'arc électrique, fournit un spectre dans lequel la raie sodique n'apparaît pas plus fortement que dans l'étincelle ou l'arc éclatant dans le même air.

Digitized by Google

En procédant, en collaboration avec M. Depaire, à la revision de mes études spectroscopiques sur le chlorure et l'hydroxyde de strontium, il a été reconnu avec certitude qu'en soumettant à l'analyse prismatique les radiations émanées du cône interne d'un dard oxycarbohydrique dans lequel on avait introduit du chlorure ou de l'hydroxyde de strontium, on n'aperçoit dans l'espace spectral ni la *deuxième*, ni la *troisième* raie d'un bleu violacé découverte par M. Bunsen dans le spectre électrique, en se servant d'un spectroscope permettant de voir ces deux raies dans l'étincelle et l'arc saturés de chlorure de strontium.

Nous nous sommes assurés de l'immutabilité du spectre électrique du strontium, en soumettant le chlorure et l'hydroxyde de ce métal aux mêmes courants que ceux qui nous ont servi pour l'étude du spectre de l'arc lithique et calcique, et en employant les mêmes spectroscopes. En effet, nous avons eu recours au courant produit par la batterie de trente-trois boites d'accumulateurs Julien et au courant du dynamo Gramme et du dynamo Siemens *accouplés*, et en prenant le régulateur Gérard pour y fixer les électrodes en charbon de cornue purifié.

Nous avons constaté ainsi que l'analyse prismatique de l'illumination intense qui se produit lors du contact des électrodes permet d'apercevoir un espace spectral formé d'un spectre continu, sur lequel se détache le spectre du strontium, et que l'analyse prismatique de l'arc fait apparaître un spectre continu, sur lequel se détachent à la fois le spectre du strontium et le spectre des raies électriques du carbone.

Dans l'un et l'autre cas, le spectre du strontium est identique à celui figuré par M. Bunsen dans son travail sur le spectre électrique du chlorure de strontium.

Les raies diffuses dans le spectre de l'étincelle non condensée ou condensée, restent diffuses dans le spectre de l'arc si puissant, quoique dans celui-ci elles le soient à un degré moindre. Au moment de l'introduction du chlorure de strontium dans l'arc, on aperçoit la raie sodique. Cette raie diminue rapidement d'intensité et, bien avant la volatilisation de la majeure partie du chlorure, on ne voit pas la raie sodique plus fortement que dans l'arc jaillissant dans l'air, les électrodes étant privées de strontium. On peut

Digitized by Google

donc dire qu'il n'y a aucun rapport entre le spectre sodique et le spectre électrique du strontium.

Il résulte de ce qui précède que les spectres de flamme et le spectre électrique du strontium n'ont aucun rapport avec les spectres lumineux du potassium, du lithium et du calcium, et que le spectre électrique du strontium est immutable dans les conditions dans lesquelles il m'a été possible d'exécuter les recherches.

CHAPITRE IX.

Recherches chimiques sur le sulfate, le sulfure, le chlorure et le carbonate de baryum.

J'ai cherché, à différentes époques, à me procurer du chlorure de baryum pur pour l'employer à la détermination de son rapport proportionnel avec l'argent. Le désaccord entre les résultats constatés pour le chlorure préparé par des méthodes différentes m'a empêché de livrer mes recherches à la publicité. J'ai opéré en 1858 sur du chlorure de baryum obtenu en grand par feu Kuhlmann. J'en ai préparé moi-même avec de la withérite. J'ai reconnu alors mon impuissance à éliminer d'une manière complète le strontium et le calcium du chlorure de baryum par la voie des cristallisations successives. Je n'ai pas réussi davantage en épuisant le chlorure de baryum par l'alcool bouillant. D'après le conseil de M. Bunsen, j'ai repris ces recherches en 1863 et en 1866, et j'ai également échoué dans ma tentative d'arriver à des résultats constants, bien entendu dans la limite d'exactitude à laquelle conduit l'emploi des chlorures alcalins. Ayant enfin trouvé la cause de la divergence des résultats obtenus, j'ai tenté de nouveau de me procurer du chlorure pur, mais destiné cette fois à un tout autre but, celui

Digitized by Google

de m'assurer si, par l'action de la chaleur, on parvient à ramener le spectre du baryum au spectre du strontium, du calcium, du sodium ou du lithium.

Dès que j'ai pu appliquer l'analyse prismatique à la recherche de la pureté des composés barytiques, j'ai constaté que le chlorure de baryum obtenu par la voie des cristallisations successives quelque répétées qu'elles soient, donne indéfiniment le spectre sodique et que le carbonate produit à l'aide de la précipitation de ce chlorure par le carbonate ammoniacal d'ammonium fournit indéfiniment des indices de spectres sodique et calcique. Le fait est qu'en exécutant les opérations dans des vases de verre, j'ai constamment attaqué la substance du verre et introduit de la silice, de la soude et de la chaux dans les produits préparés. Ayant reconnu la cause de l'erreur commise, j'ai pu aller droit au but.

Je suis parti du chlorure de baryum préparé en grand par feu Kuhlmann ou obtenu par moi en dissolvant la withérite dans de l'acide chlorhydrique dilué. J'ai éliminé d'abord, à l'aide d'un petit excès de sulfhydrate de baryum, le fer, le manganèse et le plomb contenus dans le chlorure. Cette séparation est complète en opérant sur une solution maintenue pendant quinze à vingt minutes en ébullition. Après la filtration, le liquide rendu faiblement acide par de l'acide chlorhydrique a été concentré jusqu'à pellicule et ensuite refroidi brusquement. Le chlorure essoré à la trompe a été soumis à *dix cristallisations*, en écartant chaque fois l'eau mère et essorant à la trompe.

J'ai traité ce chlorure par de l'alcool à 98 centésimaux bouillant et j'ai renouvelé cinq fois ce traitement. J'ai pu constater dans le résidu laissé par la distillation de l'alcool, à côté du baryum, la présence du calcium, du strontium et du sodium. Le chlorure introduit au bout d'une boucle en fils de platine dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, lui a communiqué la coloration sodique, et la raie sodique a continué à se montrer tant que le résidu de la décomposition est resté dans la flamme.

Pour éliminer la silice contenue dans le chlorure ainsi traité, j'ai eu recours au moyen que j'ai employé pour me débarrasser de la silice des chlorures de calcium et de strontium, c'est-à-dire à l'action du chlorure d'ammonium à haute température. J'ai donc introduit la masse épuisée par l'alcool dans la cucurbite d'une cornue de platine, et je l'ai arrosée d'une

Digitized by Google

solution de chlorure d'ammonium pur. Après la dessiccation, le mélange a été chauffé au point de chasser la majeure partie du sel ammoniac. Le chlorure a été repris par une quantité d'eau froide suffisante seulement pour le dissoudre, et la solution légèrement trouble a été filtrée pour séparer la silice qu'elle tenait en suspension.

J'ai répété encore à deux reprises le traitement au chlorure d'ammonium, et, à la troisième reprise, le chlorure s'est dissous dans l'eau en donnant un liquide tout à fait limpide et ne laissant trace de silice sur le filtre.

Arrivée à cet état, la solution a été divisée en deux parties A et B.

La partie A, diluée de cinq fois son volume d'eau, a été versée dans son volume d'eau acidulée par une quantité d'acide sulfurique pur suffisante pour précipiter tout le baryum. La partie B, diluée également de cinq fois son volume d'eau, a été versée dans un volume égal de solution diluée de sulfate et de carbonate ammoniacaux d'ammonium, contenue dans un vase de platine couvert et renfermant assez de sulfate pour précipiter tout le baryum.

Le baryum, le calcium et le strontium doivent exister exclusivement à l'état de sulfate dans le précipité de A, tandis que dans le précipité de B le baryum seul peut être à l'état de sulfate, le calcium et le strontium doivent se trouver sous forme de carbonates.

Les sulfates, ayant été produits au sein de liquides très dilués, étaient d'une division extrême et sont restés très longtemps en suspension. Leur lavage, qui a dû s'opérer par décantation, a duré *plusieurs mois*. C'est surtout le lavage du sulfate obtenu au sein du milieu ammoniacal qui a été le plus difficile et le plus long. Il m'a offert cette particularité que l'eau de lavage, devenue complètement limpide, se troublait par l'addition de quelques gouttes d'acide azotique, comme si du sulfate de baryum y existait à l'état dissous, à la faveur du sulfate d'ammonium. Mais, quelle que soit la cause du fait, je l'ai observé constamment pendant les premiers temps du lavage [1].

Dans le faible résidu de l'évaporation des eaux mères et dans les eaux de

[1] Ces recherches ont été exécutées en 1879; depuis cette époque, on a constaté la solubilité du sulfate de baryum précipité dans le sulfate d'ammonium.

Digitized by Google

décantation du précipité tant de A que de B, j'ai constaté la présence du baryum, du calcium, du strontium et du sodium.

Après avoir effectué les lavages, j'ai introduit le sulfate de A dans un grand vase de platine, je l'ai arrosé d'une solution saturée de carbonate ammoniacal d'ammonium, et j'ai abandonné, à l'abri des poussières de l'air, le mélange à lui-même pendant vingt-quatre heures, pour transformer en carbonates le calcium et le strontium qui pouvaient encore s'y trouver.

J'ai délayé le sulfate de B dans son volume apparent d'eau contenant 5 °/₀ d'acide chlorhydrique distillé, et j'ai également laissé le tout à lui-même pendant vingt-quatre heures.

Au bout de ce temps, le sulfate de A et le sulfate de B ont été mis en suspension dans de l'eau et les liquides ont été abandonnés à l'éclaircissement spontané. Il a fallu un temps fort long pour atteindre ce résultat, et toutes les difficultés pour opérer les lavages par décantation se sont reproduites. Je n'ai trouvé d'autre moyen de gagner du temps que d'entraîner, à chaque lavage, une petite partie du sulfate qui avait déjà causé tant de travail.

Après le lavage du précipité de A, je l'ai traité par de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique, comme je l'avais fait pour le précipité de B, et j'ai procédé ensuite à un nouveau lavage à l'eau pure.

L'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, qui avait séjourné sur les sulfates de baryum de A et de B, contenait du baryum et des traces de calcium, de strontium et notablement de sodium.

J'ai tenu en suspension dans de l'eau bouillante contenue dans un vase de platine, les sulfates de A et de B, et quelque prolongés qu'aient été le temps de contact et le renouvellement de l'eau, l'introduction d'une partie de A et de B dans la flamme d'un brûleur de Bunsen a eu toujours pour effet de colorer primitivement ces flammes en *jaune*. Je dois donc reconnaître que j'ai été impuissant à priver de sodium l'un et l'autre sulfate de baryum, traités avec des soins persévérants, au point de ne plus imprimer à l'instant de contact une coloration jaune à la flamme d'un brûleur de Bunsen ou au dard oxhydrique. Après l'essai suffisamment répété dans de l'air pur, les sulfates ont été séchés, dans les vases de platine qui les contenaient, au bain-marie d'abord, et ensuite à température élevée. Par l'action de la

Digitized by Google

chaleur, ils se sont considérablement contractés, tout en restant d'une blancheur parfaite. On ne peut réaliser ce fait dans le platine qu'en ne mettant jamais le métal en conctact avec de l'eau contenant plus de cinq pour cent de son volume d'acide chlorhydrique.

Immédiatement après leur dessiccation, ou après leur conservation sous une cloche remplie d'air pur, maintenu sec par de l'acide sulfurique, les sulfates n'ont pas imprimé à la flamme une coloration jaune plus intense ni plus persistante qu'à l'état humide. Il résulte de ces observations que le sodium est fixé sur le sulfate de baryum d'une manière plus prononcée encore que sur les carbonates de calcium et de strontium, et à l'égal, *au moins,* du carbonate de lithium. Mais sous l'influence combinée de la chaleur et d'un courant gazeux, on le dépouille de sodium avec autant de facilité que les carbonates de calcium et de strontium, et beaucoup plus rapidement que le carbonate de lithium.

L'un et l'autre sulfate, privés de sodium dans le dard oxhydrique, communiquent à cette flamme la coloration verte, caractéristique des composés barytiques. Chauffés au point de se fondre d'abord et de se solidifier ensuite partiellement par dissociation, ils ont fourni le spectre barytique connu, ainsi que je l'expose dans la notice suivante. Ni à basse température, ni au point de fusion de l'iridium, ils ne m'ont donné trace des raies caractéristiques des spectres calcique, strontianique, lithique, potassique ou sodique.

En 1866, j'ai transformé en sulfure du sulfate de baryum obtenu par les deux moyens que je viens d'exposer. J'ai opéré cette réduction en mêlant les sulfates avec du noir de pétrole pur et en chauffant le mélange dans un creuset de charbon couvert, renfermé dans un creuset de Hesse, rempli de charbon de bois purifié aux acides fluorhydrique et chlorhydrique.

Soit que de la silice et de la soude du foyer aient pénétré dans le creuset pendant la chauffe, soit toute autre cause inconnue, le fait est que l'un et l'autre sulfure ont fourni un spectre barytique, sous le dard oxhydrique avec excès d'hydrogène dans lequel s'est montré *indéfiniment le spectre sodique.*

J'ai eu recours alors à la réduction du sulfate de baryum par l'hydro-

Digitized by Google

gène pur. A cet effet, j'ai rempli de sulfate une nacelle de platine, préalablement rougi au dard aérhydrique, contenue dans une grande nacelle de charbon pur. J'ai introduit ce système dans un large tube en porcelaine, chauffé au rouge sombre, lorsque de l'hydrogène pur et sec l'eut traversé pendant quelque temps déjà. Après la réduction, j'ai maintenu le courant d'hydrogène jusqu'au refroidissement complet du tube.

Les sulfures étaient d'un blanc grisâtre, sauf aux points de contact avec les parois de la nacelle de platine. Sous le dard oxhydrique, avec excès d'hydrogène, ils ont fourni le même spectre barytique que les sulfates dont ils provenaient, et dans lequel le spectre sodique s'est montré pendant quelque temps, mais qui a fini par disparaître complètement.

Malgré l'attaque du platine par le sulfure de baryum, j'ai réduit, dans une feuille de platine pur, transformée en nacelle, une assez grande quantité de sulfate dont j'avais éliminé au dard oxhydrique, autant que possible, tout le sodium. Sans retirer du tube en porcelaine la nacelle contenant le sulfure, j'ai fait passer, à *froid* d'abord, un courant d'acide chlorhydrique pur et sec. Lorsque la majeure partie du sulfure fut transformée ainsi en chlorure, j'ai porté, dans le courant, le tube au rouge sombre, pour être certain d'avoir décomposé en entier le sulfure de baryum.

Le chlorure ainsi produit, porté directement sous le dard oxhydrique, a donné un spectre barytique très intense et très brillant, identique à celui du sulfate et du sulfure, dans lequel le spectre sodique s'est montré d'une manière *très fugitive,* et qui avait disparu bien avant que tout le chlorure fût ramené complètement à l'état d'oxychlorure.

J'ai dissous dans de l'eau une certaine quantité de chlorure ainsi produit dans le platine, pour le transformer en carbonate. Ce sel, obtenu par double décomposition avec des liqueurs étendues, étant très difficile à laver, j'avais espéré, comme effectivement c'est le cas, de réussir plus facilement en faisant passer un courant d'anhydride carbonique dans une solution ammoniacale de chlorure de baryum. A cet effet, j'ai fait dissoudre, par inadvertance, à l'aide d'un tube en *verre ordinaire,* de l'ammoniaque dans la solution étendue de chlorure de baryum contenue dans un vase de platine, et lorsque le liquide répandit une odeur ammoniacale prononcée, j'avais amené un

Digitized by Google

courant d'anhydride carbonique jusqu'à précipitation complète du baryum. Le carbonate produit ainsi est en effet relativement facile à laver; mais après un lavage complet, introduit dans la flamme d'un brûleur de Bunsen ou dans le dard du chalumeau oxhydrique, il a fourni *indéfiniment* la raie sodique. Le contact du verre ordinaire avec l'ammoniaque dissoute a suffi pour amener dans le sel une minime quantité de silicate de sodium, mais suffisante toutefois pour rendre interminable l'élimination complète de ce métal. J'ajouterai qu'en s'emparant du silicate de sodium du verre, il fixe également des traces de calcium. J'ai constaté qu'à la température de fusion de l'iridium, l'analyse prismatique du dard oxhydrique donne des indices fugitifs, mais certains, de la raie bleue calcique, qui vient s'ajouter aux spectres barytique et sodique.

J'aurais pu me dispenser de rendre compte de mon erreur; mais j'ai pensé que l'enseignement qu'elle renferme serait utile à ceux qui seront tentés dans la suite de contrôler ces travaux.

J'ai donc été obligé de reprendre la préparation du carbonate de baryum dans le platine, en me passant complètement de verre, ce qui du reste est très facile, car à défaut de tubes en platine pour remplacer les tubes en verre, on peut employer des tubes en caoutchouc lestés au platine, et même en gutta-percha, qui ont séjourné quelque temps dans de l'acide chlorhydrique dilué, comme je l'ai fait antérieurement et depuis. En prenant toutes les précautions possibles pour éviter les poussières de l'air, j'ai donc précipité une solution ammoniacale de chlorure du sulfure par de l'anhydride carbonique. J'ai lavé par décantation avec de l'eau froide d'abord, ensuite par de l'eau bouillante le carbonate de baryum produit jusqu'à l'élimination complète du chlore.

Immédiatement après la fin du lavage, le carbonate introduit, humide encore, dans la flamme d'un brûleur de Bunsen, lui communique d'une manière très fugitive le caractère sodique; mais à peine porté au rouge vif dans le dard du chalumeau oxhydrique, la raie sodique a disparu pour ne plus réapparaitre, même à la température de la fusion de l'iridium.

J'ai traité ce carbonate par de l'eau chargée d'anhydride carbonique, et je ne suis pas parvenu à diminuer ainsi le faible caractère sodique qu'il imprime momentanément au dard oxhydrique.

Digitized by Google

Après sa dessiccation dans le platine et une longue conservation sous une cloche à l'abri des poussières de l'air, ce carbonate a fourni un spectre sodique plus prononcé, mais la raie sodique faiblit très rapidement pour laisser exclusivement le spectre barytique, lorsque l'air lui-même ne donne pas, au même moment, des traces du spectre sodique.

CHAPITRE X.

Caractères imprimés aux flammes, à l'étincelle, à la décharge et à l'arc électriques par les composés du baryum.

Spectres lumineux du baryum. — Les composés barytiques communiquent aux flammes incolores, à l'étincelle et à la décharge électriques une teinte d'un jaune verdâtre. La coloration verte est d'autant plus prononcée que les composés sont mieux dépouillés de sodium. L'arc électrique barytifère est *blanc.* L'analyse prismatique des flammes barytifères fait apparaître un spectre à bandes très compliqué. Je n'ai pas cru devoir reculer devant ces difficultés, eu égard au problème que je m'étais posé de rechercher si, par suite de l'élévation de la température des flammes ou de l'intensité des phénomènes électriques, on peut déterminer l'apparition des raies propres au sodium, au potassium, au lithium, au calcium ou au strontium lorsque initialement les composés barytiques sont dépouillés, par la voie des forces chimiques et physiques, des moindres traces de ces métaux.

Pour l'exécution de ces recherches, j'ai eu recours au sulfate de baryum, obtenu à l'aide de deux procédés différents, au sulfure provenant de ces sulfates, à l'hydroxyde préparé au chalumeau oxhydrique à l'aide du carbonate et du chlorure de baryum du sulfure.

Digitized by Google

Dans la notice précédente, j'ai exposé en détail les méthodes que j'ai suivies pour me procurer ces composés.

Quelle qu'ait été la provenance du baryum, son spectre, dans le dard oxhydrique, a été identique lorsque j'ai opéré à la température la plus élevée que j'ai pu réaliser.

En partant du *sulfate* préparé par l'un ou l'autre des moyens employés, mais produit dans un milieu privé de *silice* et autant que possible de sodium, comme c'est le cas du chlorure soumis à dix cristallisations successives dans le platine, et chauffé ensuite à plusieurs reprises au rouge sombre dans le platine avec du chlorure d'ammonium et repris chaque fois à l'eau pure, j'ai constaté les faits suivants :

Le sulfate, séché à l'abri des poussières atmosphériques, chauffé sur une feuille de platine privé de sodium, colore à l'instant en *jaune pur* le dard oxhydrique brûlant avec grand excès d'hydrogène. En ménageant convenablement la température de manière à fritter seulement le sulfate et à empêcher sa fusion, on constate qu'au bout de peu de temps la coloration jaune du dard disparaît pour devenir d'un jaune verdâtre pâle d'abord et vert *foncé* ensuite. Après avoir renouvelé suffisamment les couches du sulfate simplement fritté, l'analyse prismatique de la flamme fait voir que la raie sodique diminue constamment d'intensité, pour en venir à l'état observé au même moment dans le dard brûlant dans l'air ambiant.

Avec des soins assidus, on peut amener le sulfate à ne plus donner des indices de la raie sodique avant même qu'on l'ait chauffé assez pour le fondre en petites perles *limpides, transparentes* et *incolores,* qui restent à la surface du sulfate fritté comme de la rosée et qui, par le refroidissement, présentent l'aspect de l'émail blanc.

J'ai effectué, à plusieurs reprises, l'élimination du sodium qui est retenu énergiquement par le sulfate en opérant sur le sel de deux provenances différentes, et j'ai le mieux réussi en procédant, comme je l'ai pratiqué pour le carbonate de strontium, l'avant-veille à la séparation de la presque totalité du sodium, et en achevant ensuite l'opération dans la salle lavée avec soin et dans un air complètement reposé.

Lorsqu'on est deux pour exécuter ce travail délicat, l'un étant chargé

Digitized by Google

alternativement de provoquer, par l'application convenable du dard, la volatilisation du composé et l'autre de suivre le spectre produit, on arrive bientôt à se faire une conviction qu'il n'y a aucune corrélation entre la raie sodique et les raies jaunes du baryum, malgré la proximité de celles-ci, en se servant d'un spectroscope d'une faible dispersion. Lorsqu'on a eu soin de volatiliser au moins les *deux tiers* du sulfate soumis à l'essai, quelle que soit la température à laquelle on amène le sulfate ou plutôt le produit de sa dissociation, et en employant le spectroscope de M. Dubosq muni de trois prismes, il est impossible de réaliser l'apparition d'une raie en corrélation avec l'*une* ou l'*autre de la double raie sodique empruntée comme repère au spectre solaire.*

Par l'élévation de la température, on ne saurait produire trace de sodium à l'aide du sulfate de baryum.

Il n'y a pas de doute possible à ce sujet. Quant au spectre du sulfate de baryum et du produit de sa dissociation, mes observations ont conduit aux résultats suivants :

Spectre de flamme du sulfate de baryum. — Le sulfate, privé complètement de sodium, chauffé au dard oxhydrique à une température inférieure à celle à laquelle apparaît la raie diffuse d'un bleu verdâtre 82,2 du spectroscope de Steinheil, 90 du spectroscope de M. Bunsen, fournit un spectre formé exclusivement des bandes rouges, oranges et vertes parfaitement connues par le travail de Bunsen et Kirchhoff. Dès que la température est suffisamment élevée pour faire apparaître la raie bleu verdâtre, les bandes montrent une tendance à mieux se délimiter, mais je ne puis pas dire que je suis parvenu à apercevoir dans le spectre une raie à contours parfaitement nets. Je n'excepte pas la raie bleu verdâtre 82,20 du spectroscope de Steinheil, 90 du spectroscope de M. Bunsen.

La position des bandes est d'une *fixité remarquable ;* j'ai trouvé cette position telle qu'elle a été indiquée par Bunsen, dans son mémoire : *Spectral-analytische Untersuchungen,* pour le spectre de flamme du chlorure de baryum, bien entendu dans la limite d'exactitude de mesure du 0,50 de division du micromètre.

En élevant la température au point de colorer la flamme oxhydrique

Digitized by Google

complètement en bleu par l'incandescence de l'hydrogène, la physionomie du spectre change : il acquiert le plus vif éclat. Les bandes 59,75 à 61,80; 85,2 du spectroscope de Steinheil, 61 à 63 et 90 du spectroscope de Bunsen tendent à se transformer en raies; leur fond toutefois reste diffus. Au centre de l'espace compris entre E*b* et F apparait une bande qui, à l'instant du plus vif éclat, se compose d'une *série de raies* vertes d'une finesse extrême. Ces raies vertes, dont le nombre varie suivant l'intensité de la chaleur, comprennent six divisions et demie du micromètre; elles commencent à 75,5 et finissent à 82 du spectroscope de Steinheil; 79 à 86 ± 0,25 de l'échelle du spectroscope de Bunsen. Cette bande complexe est figurée sur le dessin si exact donné par M. Roscoe du spectre de flamme du chlorure de baryum. En me servant du spectroscope de M. Duboscq, muni de trois prismes en flint, j'ai essayé de déterminer nettement la position de chacune des raies; mais j'ai échoué dans ma tentative. L'absorption de la lumière est telle qu'on aperçoit les raies avec peine.

J'ai renouvelé l'essai en employant le spectroscope de M. Hilger muni de trois prismes de spath, et je n'ai pas réussi davantage.

Quoi qu'il en soit, la physionomie du spectre du sulfate de baryum et des produits de sa dissociation est différente, suivant qu'on l'observe dans la partie du dard oxhydrique où l'hydrogène est ou n'est pas porté à l'incandescence. Dans le premier cas, on aperçoit le spectre figuré par M. Roscoe, et dans le second cas le spectre indiqué par Bunsen. Mais dans aucune de ces deux conditions on ne découvre trace des spectres spécifiques du potassium, du lithium, du calcium ou du strontium.

En ce qui concerne le calcium et le strontium, j'ai surtout porté mon attention sur la question de savoir si, *pendant* ou *après* la dissociation du sulfate et lorsque la température est au maximum (point de fusion de l'iridium), la physionomie du spectre change, et notamment si la raie bleue calcique 125,50 et la raie bleue strontianique 99,00 du micromètre du spectroscope de Steinheil, correspondant aux divisions 135,0 et 105 à 106 du spectroscope de Bunsen, apparaissent un instant, faits qu'on parvient à réaliser en opérant sur du sulfate de baryum mélangé intentionnellement de $^{1}/_{10,000}$ de sulfate de calcium et de strontium.

Digitized by Google

Il m'a été impossible de constater la présence des raies *bleues* caractéristiques du calcium et du strontium. Je mentionne spécialement la raie bleue calcique 125,5 du spectroscope de Steinheil et non pas la raie-bande *verte* calcique 60 à 61,3, parce que le spectre de flamme du sulfate barytique, privé absolument de sulfate calcique, présente *une raie verte à la même position en faisant la mesure au spectroscope de Steinheil.* En substituant le grand spectroscope de Hilger au spectroscope de Steinheil, on constate aisément qu'il y existe, entre la position de la raie verte barytique et la raie verte calcique, une distance représentée par *trois fois* l'épaisseur des raies ramenée à environ 1 millimètre. La coïncidence de la position des raies vertes barytique et calcique, constatée par des spectroscopistes, doit être attribuée à un défaut du pouvoir dispersif des spectroscopes employés par ces observateurs. Les nombreuses recherches que j'ai faites, à des époques très différentes, pour m'assurer de la pureté du sulfate de baryum, m'ont forcé de reprendre à plusieurs reprises l'analyse prismatique du dard oxhydrique chargé de ce composé à basse et à la plus haute température possible, et les résultats ont toujours été les mêmes lorsque j'avais réussi à éliminer, au préalable, le calcium et le strontium, *qui se fixent opiniâtrément sur le baryum.*

Spectre de flamme du sulfure de baryum. — Ainsi qu'il est dit dans la notice précédente, j'ai réduit à l'état de sulfure le sulfate de baryum pur et privé de sodium, tant par l'hydrogène dans le platine que par le noir de pétrole, dans un creuset de charbon de cornue purifié, entouré d'un second creuset rempli de charbon végétal purifié aux acides chlorhydrique et fluorhydrique concentrés et dilués.

Le sulfure obtenu par l'hydrogène dans le platine, volatilisé dans le gaz oxhydrique avec excès d'hydrogène, a fourni par l'analyse prismatique, immédiatement suivant la température, des spectres identiques à ceux du sulfate purifié dans la flamme oxhydrique. La fixité de position des bandes de ces spectres est la même que celle du sulfate.

J'ai pu constater du reste analytiquement que sous l'influence du dard oxhydrique *avec excès d'hydrogène,* le sulfure de baryum passe rapidement à l'état d'un mélange d'hydroxyde et de sulfate de baryum.

Digitized by Google

Spectre de flamme du chlorure provenant du sulfure de baryum. — Après avoir réduit à l'hydrogène dans le platine, le sulfate privé de sodium, j'ai transformé en chlorure le sulfure produit. Cette transformation a été opérée à l'abri de l'air, à l'aide de l'acide chlorhydrique aussi pur que possible et sans retirer du tube en porcelaine la nacelle de platine contenant le sulfure. Le chlorure ainsi obtenu, chauffé directement dans le dard oxhydrique avec excès d'hydrogène, fournit, à une température inférieure à l'incandescence de l'hydrogène, le spectre barytique à bandes *très diffuses* parfaitement connu, et à la température voisine de la fusion de l'iridium, après la transformation du chlorure en hydroxyde, un spectre formé complètement de bandes délimitées, mais sans raies proprement dites. Je n'en excepte pas la raie 82,2 du spectroscope de Steinheil, 90 du micromètre du spectroscope de M. Bunsen.

J'ai aperçu une très faible raie sodique au commencement de l'action de la chaleur; bien avant la transformation du chlorure en hydroxyde, il était impossible de constater la raie sodique plus fortement que dans l'air au même moment.

Spectre de flamme du carbonate de baryum. — Voulant étudier le spectre de flamme du carbonate de baryum et de l'hydroxyde qui en provient, je me suis procuré du carbonate à l'aide du chlorure préparé dans le platine par l'acide chlorhydrique gazeux et sec sur le sulfate réduit par l'hydrogène du sulfate privé de sodium.

Quoique je m'explique longuement, dans la note précédente, sur la nécessité d'opérer dans le platine la précipitation du chlorure à l'aide du carbonate ammoniacal d'ammonium, ainsi que tous les lavages du carbonate de baryum, et d'exclure complètement l'emploi du verre, je crois devoir insister sur ce fait pour ne laisser aucune illusion à ceux qui tenteraient cette opération dans des vases de verre. En ne prenant pas cette précaution, on introduit de la silice, du calcium et du sodium empruntés au verre, et on obtient un carbonate de baryum qui, dans le dard oxhydrique où l'hydrogène est porté à l'incandescence, fournit par l'analyse prismatique un spectre donnant indéfiniment la raie sodique et même la raie bleue calcique 135 du micromètre du spectroscope de M. Bunsen.

Digitized by Google

Les résultats des observations sur le carbonate de baryum s'appliquent donc à un sel préparé exclusivement dans le platine.

Le carbonate obtenu et conservé à l'abri des poussières de l'atmosphère, chauffé au dard oxhydrique, communique à celui-ci une coloration jaune très passagère. Lorsque la température est portée au rouge vif et que les couches du sel ont été suffisamment renouvelées, le spectre sodique disparaît bien avant que la décarbonatation soit effectuée. Ce résultat étant atteint, le spectre barytique se montre sans ou avec la raie sodique affaiblie, suivant l'état de l'air. A température égale, mais relativement basse, le carbonate imprime au dard oxhydrique une coloration verte plus pâle que celle produite par le sulfate de baryum; le spectre du carbonate est également plus faible et présente moins d'éclat que celui du sulfate; il est formé comme celui-ci exclusivement de bandes. Au point de fusion du platine, les bandes se délimitent mais ne sont pas remplacées par des raies. Lorsqu'on approche du point de fusion de l'iridium, on aperçoit encore les bandes primitivement formées, mais on constate alors la transformation de la bande 75.5 à 82 du spectroscope de Steinheil, 79 à 86 du micromètre du spectroscope de M. Bunsen, en une série de raies vertes *très fines* dont j'ai parlé plus haut au sujet du spectre du sulfate et des produits de sa dissociation. Du reste, à cette température extrême, le carbonate doit être complètement dissocié. On est donc autorisé à dire que les spectres du carbonate et des produits de sa dissociation sont identiques aux spectres du sulfate et des produits de la dissociation de celui-ci. Je le répète, ces spectres n'ont rien de commun avec les spectres spécifiques du sodium, du potassium, du lithium, du calcium et du strontium.

Spectres électriques du baryum. — A plusieurs reprises, j'ai institué des recherches sur le spectre électrique du chlorure et de l'hydroxyde de baryum, obtenu par la dissociation du chlorure ou du carbonate de baryum. Ces recherches m'ont permis de constater les faits suivants.

La coloration et l'intensité lumineuse d'une étincelle d'un demi-centimètre de longueur, provenant de la réduction d'une étincelle de cinq centimètres éclatant entre des sphéroïdes de platine pur couverts de chlorure de baryum *fondu*, diffèrent à peine de la coloration et de l'intensité lumineuse de la même

Digitized by Google

étincelle traversant l'air pur; tandis que ce même chlorure, mouillé de sa solution saturée, colore l'étincelle en vert légèrement jaunâtre. La coloration verte est d'autant plus foncée pour une même distance des sphéroïdes que la longueur de l'étincelle non réduite est initialement plus grande. La décharge d'une bobine avec condensateur donnant des étincelles de quinze centimètres de longueur entre des sphéroïdes de platine entourés de chlorure de baryum fondu, est très lumineuse et colorée en jaune verdâtre.

La coloration et l'intensité lumineuse de l'étincelle chargée de chlorure de baryum sont donc à la fois fonction de la volatilité de ce composé et de la puissance des phénomènes électriques.

On observe ces faits à un degré plus prononcé avec l'hydroxyde de baryum. L'œil est impuissant à constater une différence de coloration et d'intensité lumineuse d'une étincelle de cinq ou de quinze centimètres éclatant entre des sphéroïdes de platine entourés d'hydroxyde de baryum et distants d'un demi-centimètre. En mouillant les sphéroïdes avec une solution aqueuse saturée d'hydroxyde, on observe une coloration d'un vert très pâle.

Au contraire, on trouve fortement colorée en vert jaunâtre la décharge entre des sphéroïdes enveloppés du même hydroxyde distant d'un demi-centimètre d'une bobine avec condensateur à batterie de Leyde, donnant une étincelle de quinze centimètres de longueur. L'intensité lumineuse de la décharge s'accentue encore en mouillant les sphéroïdes enveloppés d'hydroxyde fondu avec une solution aqueuse de ce corps.

Ainsi, il en est de même du chlorure et de l'hydroxyde, l'intensité lumineuse qu'ils communiquent à l'étincelle est fonction de la volatilité relative et de la puissance électrique mise en œuvre.

L'analyse prismatique de l'étincelle ou de la décharge dans laquelle le chlorure ou l'hydroxyde est répandu, confirme les faits que je viens d'exposer.

J'ai enveloppé complètement des sphéroïdes de platine pur de chlorure en les plongeant à plusieurs reprises dans ce composé chauffé au point de l'amener en pleine fusion *ignée*. Sans leur laisser le temps de prendre de l'humidité à l'air, je les ai disposés de trois à cinq millimètres de distance l'un de l'autre devant la fente du collimateur du spectroscope de Steinheil.

Digitized by Google

Ayant fait éclater une étincelle à l'aide d'une bobine qui en fournit de cinq centimètres de longueur, j'ai reconnu le spectre du baryum formé des raies qui lui sont propres, fortes à leurs *extrémités*, et *évanouissantes* vers leur milieu et d'une très faible intensité colorante, comme si l'on apercevait exclusivement le spectre des extrémités de l'étincelle. En déplaçant convenablement la lunette pour parcourir tout le champ du spectre dans sa hauteur, j'ai pu acquérir la certitude qu'il manquait aux raies, pour être complètes, de la moitié au tiers de leur longueur, suivant l'écartement des sphéroïdes enveloppés. J'ai répété très souvent ces observations et le doute sur leur exactitude ne m'est pas permis.

Après avoir constaté le résultat, sans interrompre le jaillissement des étincelles, j'ai mouillé, à l'aide d'une petite cuiller de platine, soudée à un tube de verre, avec une solution saturée de chlorure, les sphéroïdes enveloppés. L'étincelle s'est immédiatement colorée en vert et, sans distinction aucune, toutes les raies se sont complétées et ont acquis en même temps les intensités colorante et lumineuse qui leur sont propres.

J'ai essayé de reproduire ces faits en substituant au spectroscope de Steinheil le grand spectroscope de M. Hilger. En me servant successivement de trois et de six prismes en spath, je ne suis pas parvenu à observer des raies évanouissantes vers leur milieu ou à leurs extrémités; toutes celles, en petit nombre, que j'ai pu apercevoir étaient complètes, mais d'une faiblesse extrême en intensité lumineuse.

A l'aide d'une solution de chlorure, j'ai hydraté les sphéroïdes enveloppés, et à l'instant même l'intensité lumineuse du spectre barytique s'est accrue au même degré que l'intensité lumineuse de l'étincelle, et j'ai retrouvé le spectre électrique complet du baryum.

J'ai remplacé le chlorure par de l'hydroxyde de baryum préparé à l'instant même par l'action du dard oxhydrique sur le chlorure. En me servant du spectroscope de Steinheil, j'ai constaté les mêmes faits à un degré plus prononcé. *Les raies sont plus incomplètes encore, plus évanouissantes vers le milieu, et l'intensité colorante des parties observées est également moindre.* Pour compléter les raies, il suffit d'augmenter l'intensité lumineuse de l'étincelle. On arrive à ce résultat en mouillant l'hydroxyde anhydre à l'aide

Digitized by Google

de sa solution aqueuse, ou même avec de l'eau pure; mais on ne parvient pas ainsi à reproduire l'intensité colorante des raies du spectre du chlorure hydraté, plus volatil que l'hydroxyde hydraté.

Ces faits concordent avec ceux constatés par M. Fiévez, et l'explication qu'il en a donnée me semble incontestable. On sait qu'il a attribué l'existence ou l'absence de raies incomplètes à une question d'*intensité lumineuse*.

L'intensité lumineuse des radiations barytiques électriques est relativement faible. En effet, lorsqu'on observe un spectre barytique électrique résultant de l'analyse prismatique d'une étincelle, de 2 à 5 millimètres de longueur entre des sphéroïdes de platine enduits de chlorure ou d'hydroxyde de baryum anhydre, ou même mouillés d'une solution saturée de l'un ou de l'autre de ces composés, et qu'on place derrière l'étincelle barytique un brûleur de Bunsen dans la flamme duquel on introduit du thallium ou l'un de ses composés, de manière à faire passer les radiations thalliques au travers de l'étincelle barytique, on constate, à l'instant même du passage des radiations thalliques, l'extinction du spectre barytique et son remplacement par le spectre thallique. En interposant devant la flamme thallique et derrière les sphéroïdes enduits du composé barytique un écran mobile, j'ai pu, à volonté, réaliser la *disparition* ou l'*apparition* du spectre électrique barytique ou le spectre de flamme thallique, en me servant soit du spectroscope de Steinheil, soit du spectroscope de Duboscq, soit du grand spectroscope de M. Hilger muni de trois prismes de spath d'Islande.

L'intensité des radiations émises par la flamme de la lampe de Bunsen dans laquelle on introduit le *métal* thallium, est telle que je suis parvenu à éteindre complètement le spectre de la décharge électrique barytique d'une bobine d'induction donnant des étincelles de 15 centimètres réduites à 5 millimètres.

Reste à rechercher si les radiations thalliques de flamme ou de l'arc électrique parviennent à éteindre, c'est-à-dire à empêcher la *visibilité* du spectre de l'arc barytique.

J'arrive au spectre électrique du baryum. Mes observations répétées *sur des composés produits dans des conditions différentes*, confirment les constatations de M. Bunsen pour le spectre du chlorure. J'ai trouvé le spectre

Digitized by Google

de l'hydroxyde identique, à l'intensité colorante des raies près et à l'*absence complète de la raie sodique*, à celui du chlorure. J'ai reconnu que les spectres tant de l'étincelle que de la décharge et de l'arc électriques, produits à l'aide d'une pile de *trente* éléments de Bunsen du *plus grand modèle* [1], se composent exclusivement de raies *identiques*, d'une *netteté de contours extrême*. Ce fait est très remarquable, et on ne l'observe pas et tant s'en faut au même degré pour les spectres électriques des composés du calcium et du strontium, malgré leur magnificence.

J'ai mis un soin extrême à faire le dénombrement et à déterminer la position des raies du spectre barytique électrique à l'aide du spectroscope de Steinheil, et à comparer mes résultats aux constatations de M. Bunsen, obtenues à l'aide d'un spectroscope identique.

		J'ai trouvé :	M. Bunsen donne :
Dans le rouge.	Deux raies fortes . .	$36^{d},50$	$35^{d},50$
		44,00	43,50
	Deux raies faibles . .	44,50	43,80
		45,80	45,50
Dans le jaune.	Une raie forte	51,00	51,00
	Une raie faible . . .	52,00	52,00
Dans le vert.	Une raie forte	60,40	61,00
	Une raie faible . . .	63,00	65,00
Dans le vert bleuâtre . .	Une raie forte	82,00	86,00
	Une raie faible . . .	83,00	87,75
Dans le bleu	Une raie forte	101,75	108,50

Ces résultats concordent lorsqu'on tient compte, par le calcul, de la différence du pouvoir réfringent du prisme des deux spectroscopes employés à l'analyse.

Les spectres de flamme et le spectre électrique du baryum présentent de part et d'autre des raies *communes* et des raies *différentes*. Les bandes du spectre de flamme 35.0 à 37.0, 43.5 à 46, 54.5 à 66.25, mesu-

[1] Pour l'étude de l'arc barytique produit par la pile de trente éléments de Bunsen, j'ai pris *toutes* les dispositions décrites dans les notices sur le spectre électrique du calcium et du strontium, en me servant de la *même pile*, la seule alors à ma disposition.

Digitized by Google

rées au spectroscope de Steinheil correspondant à 34.0 à 36, 43.0 à 46, 61 à 63 du spectroscope de M. Bunsen, sont représentées par les raies fortes ou faibles du spectre électrique, 36.5, 44.0, 44.5, 44.30, 60,4, mesurées au spectroscope de Steinheil et correspondant à 35.5, 43 50, 44.0, 45.5 et 65.0 du spectroscope de M. Bunsen. La forte bande 39 à 41.0; les bandes 54.5 à 55.25, 56 à 57, 63.5 à 66, 67.75, 70.75, 72.5 à 80 et enfin la raie-bande 84.25 à 86 du spectroscope de Steinheil correspondant à 55 à 56, 57 à 58, 65.5 à 68, 70 à 74 et 89 à 91 du spectroscope de M. Bunsen, *n'ont aucun représentant dans le spectre électrique.*

Les raies fortes du spectre électrique observé au spectroscope de Steinheil, 51, 82, 101.7 correspondant à 51, 86 et 108.5 du spectroscope de M. Bunsen, manquent absolument dans les spectres de flamme. J'ai effectué le dénombrement des raies-bandes du spectre de flamme, *produites au gaz oxhydrique,* ainsi que la détermination de la position des raies de chacun des spectres en superposant, aussi exactement que possible, les deux types. Ces différences, qui ont fait de ma part l'objet des investigations les plus minutieuses, ont été constatées en premier lieu par M. Bunsen et consignées par lui dans les planches qui accompagnent son travail; elles sont indubitables pour moi.

La dissemblance de ces deux types de spectres est telle qu'à moins de les avoir produits et reproduits par le même corps, on a peine à se convaincre qu'ils appartiennent à une substance unique; aussi ai-je été frappé d'étonnement lorsque j'ai comparé pour la première fois, par une position aussi précise que possible, le spectre électrique aux spectres de flamme d'un *même* chlorure de baryum, *en me servant d'un même instrument.*

Le spectre électrique s'est montré immutable; à l'intensité colorante des raies près, le spectre de la plus faible étincelle saturée de chlorure de baryum *hydraté* est identique au spectre de la plus puissante décharge ou de l'arc électrique qu'il m'a été donné de réaliser. Tous les efforts que j'ai faits, par l'élévation successive de la température, pour amener l'un des spectres de flamme au spectre électrique, ont ABSOLUMENT échoué et réciproquement si, pour la réciproque, il peut y avoir la moindre chance de réussite. En m'en tenant à mon expérience, je dois considérer comme irréduc-

Digitized by Google

tibles l'un à l'autre les spectres de flamme et le spectre électrique du baryum.

Il est donc du baryum comme du calcium, du strontium, du sodium et du lithium : les spectres de flamme et les spectres électriques de ces métaux sont représentés *en fait* par des TYPES différents, quoiqu'ils semblent devoir être indentiques.

La cause de la différence observée entre les spectres de *flamme* est probablement l'inégalité de la température; l'expérience du moins conduit à cette conclusion. La différence entre le spectre de flamme complété et le spectre électrique tient-elle à la même cause, c'est-à-dire à l'inégalité de la température du dard oxhydrique et de l'étincelle électrique, produisant des radiations d'*intensités* différentes? En effet, cette intensité relative peut faire apparaître ou empêcher l'apparition ou du moins la *visibilité* de certaines raies.

Dans le but de m'assurer si l'on peut, à l'aide du chlorure ou de l'hydroxyde de baryum *pur,* faire apparaître une des raies caractéristiques du spectre électrique du calcium ou du strontium et notamment les raies *bleues* distinctes communes aux spectres de flamme et aux spectres électriques, en d'autres termes, si le baryum est dissociable en calcium et en strontium, j'ai profité avec empressement de l'occasion que m'a offerte M. Duboscq d'un essai très en grand d'un éclairage électrique à Bruxelles par l'emploi de piles et par l'emploi d'un dynamo. A cet effet, j'ai volatilisé, avec le concours de *M. Duboscq, qui a présidé à toutes les installations,* et de M. Rommelaere, du chlorure et de l'hydroxyde de baryum dans l'arc voltaïque produit successivement par *cinquante,* par *cent,* par *deux cents* éléments de Bunsen du plus grand modèle, et dans l'arc électrique d'un dynamo dont la puissance lumineuse de l'arc était évaluée à *dix mille bougies.*

Pour exécuter ces expériences, j'ai fait pénétrer et j'ai ensuite complètement enveloppé de chlorure ou d'hydroxyde de baryum *fondu* et pur, une des extrémités de deux cylindres de charbon de cornue purifié, longs de 10 centimètres et de 1 centimètre de diamètre.

Ces cylindres étaient tenus *verticalement* par un bout dans de fortes pinces de cuivre distantes de 25 centimètres, *isolés,* se mouvant à crémail-

Digitized by Google

lère, à bouton isolant, sur une colonne de verre verni fixée sur un bloc épais de verre poli également verni. La crémaillère supérieure était en communication avec le pôle négatif, la crémaillère inférieure avec le pôle positif de la pile.

Le cylindre supérieur, terminé en cône à son bout inférieur libre, était fixé de telle manière que la pointe de son cône venait se placer exactement au centre d'une cavité creusée dans le bout supérieur du cylindre inférieur. Cette cavité pouvait contenir environ un gramme de chlorure ou d'hydroxyde de baryum fondu.

A l'aide des crémaillères isolées, on pouvait, sans faire cesser l'isolement de celles-ci, *rapprocher* les électrodes jusqu'à leur *contact*, pour faire disparaître l'arc, ou les éloigner pour changer, en longueur ou en largeur, les dimensions de l'arc produit par le courant préalablement établi.

La colonne portant les cylindres ainsi disposés était placée à une distance convenable devant la fente du collimateur des spectroscopes. Cette distance a varié de *deux* à *trois mètres*, suivant le spectroscope employé.

J'ai eu recours aux dispositions exposées ci-dessus, pour le motif que je voulais obtenir une position fixe des électrodes, tant pour l'observation de l'arc électrique barytique, les électrodes étant séparées l'une de l'autre, que pour l'observation de l'incandescence résultant du contact des électrodes en présence du composé barytique.

Or, cette condition de fixité est difficile, sinon impossible à réaliser, par l'emploi des régulateurs que j'ai eus à ma disposition. En effet, dans ces régulateurs, les électrodes sont continuellement en mouvement, soit pour se rapprocher jusqu'à se toucher, soit pour s'éloigner jusqu'à la limite de la longueur de l'arc. Il résulte de ces oscillations qu'à l'aide des spectroscopes qui restent fixes, on observe des points lumineux sans cesse variables; à des intervalles très courts, on voit successivement le spectre des électrodes en contact, le spectre d'un arc fort court, mais large, le spectre de l'arc allongé et rétréci, spectre dont la constitution est différente, mais qu'on peut confondre par suite des phénomènes de persistance.

Quoi qu'il en soit des dispositions que j'ai prises, après avoir établi le courant (*par la mise en contact des électrodes et l'échauffement au dard du*

Digitized by Google

chalumeau aérhydrique de leur extrémité jusqu'à la fusion du chlorure ou de l'hydroxyde de baryum), en agissant sur les crémaillères, on a amené les électrodes de manière à faire coïncider l'axe des collimateurs tantôt avec le *milieu* de l'arc, tantôt avec les électrodes en contact.

Au point de vue du spectre du baryum, les résultats ont été les mêmes. En effet, en soumettant, à l'aide du spectroscope de Steinheil, l'arc barytique, *court* et *large*, ou *long* et *rétréci*, il a été impossible de constater un seul instant, dans le spectre produit, l'apparition des *raies bleues et violettes du calcium et du strontium.*

En nous servant du spectroscope de M. Duboscq muni de ses cinq prismes, et prenant le *spectre solaire comme repère,* la vue a été impuissante pour apercevoir dans le spectre barytique de l'arc ou dans le spectre de l'illumination intense produite par le contact des électrodes baignées de chlorure de baryum, la raie bleue du calcium et les raies bleues et violettes du strontium à la position qu'elles doivent occuper dans le spectre solaire.

En rétrécissant très fortement la fente des spectroscopes et en ne laissant pénétrer qu'un faisceau de lumière haut de *deux* à *trois* millimètres pour avoir un espace spectral haut de 1 centimètre environ compris entre deux bandes obscures, nous avons constaté les faits suivants :

A. L'analyse prismatique de *l'arc* a donné un espace spectral d'autant plus *intensément* illuminé que l'arc était plus *court*.

Quelle qu'ait été l'intensité lumineuse, l'espace spectral a été formé d'un spectre *continu,* sur lequel se sont détachés :

1° Le spectre du baryum tel qu'on le voit dans l'étincelle non condensée saturée de chlorure de baryum ;

2° Le spectre de l'arc électrique du carbone formé de raies fines d'autant plus intensément colorées que l'arc était plus court.

B. L'analyse prismatique de l'illumination intense résultant des électrodes en *contact* et complètement entourées de vapeurs barytiques, fournit un espace spectral très fortement illuminé, formé d'un spectre continu, sur lequel se détache *uniquement* le spectre électrique du baryum tel qu'on l'aperçoit dans l'arc à côté des raies fines carbonées.

Lorsque la fente des spectroscopes est suffisamment rétrécie et que la

Digitized by Google

distance entre les électrodes et les analyseurs est convenable, on distingue si parfaitement les raies électriques du baryum que la mesure de la position de chacune d'elles dans l'espace spectral est facile, mais extraordinairement fatigante pour la vue à cause de l'intensité lumineuse du spectre continu.

Dans aucun des deux cas, on n'aperçoit aucune des raies caractéristiques du calcium et du strontium. Dans les conditions des expériences exposées ci-dessus, la dissociation du baryum en calcium et en strontium ne s'effectue donc point.

Lors de la revision que j'ai faite de mes études spectroscopiques, en collaboration de M. Depaire, j'ai tenu à contrôler mes recherches sur le spectre de l'arc électrique barytique. Nous nous sommes servis du courant produit par des accumulateurs Julien et du courant du dynamo Gramme et du dynamo Siemens accouplés.

Les spectroscopes employés ont été :

1° Un spectroscope à prisme de flint construit par M. Duboscq, identique à celui dont s'est servi M. Lecoq de Boisbaudran pour ses travaux ;

2° Un spectroscope à deux demi-prismes et lentilles en quartz, construit par M. Hilger;

3° Le nouveau spectroscope à vision directe imaginé par MM. Liveing et Dewar et construit également par M. Hilger.

Pour tenir les électrodes, nous avons eu recours au régulateur Gérard. Les cylindres de charbon de cornue purifié étaient de *dix* centimètres de longueur sur *un* centimètre environ de diamètre. Le cylindre supérieur était terminé en bas par un cône; le cylindre inférieur avait à son extrémité supérieure une cavité contenant environ 1 gramme de chlorure ou d'hydroxyde de baryum fondu.

En observant à l'aide des spectroscopes, placés à des distances convenables devant les électrodes, nous avons constaté *identiquement* les mêmes faits que ceux exposés ci-dessus, c'est-à-dire :

1° L'analyse prismatique de l'arc barytique, quelles qu'aient été ses dimensions en largeur et en longueur, a permis d'apercevoir un espace spectral formé d'un spectre continu intensément illuminé, sur lequel se détachent à la fois le spectre électrique du baryum, connu par les travaux de M. Bunsen, et les

Digitized by Google

raies fines électriques du carbone, telles que M. Fiévez les a figurées, *sans trace* des raies bleues et violettes du calcium et du strontium;

2° L'analyse prismatique de la vive illumination résultant du *contact* des électrodes, entourées de vapeurs du composé barytique, fournit un espace spectral formé d'un spectre continu, sur lequel se détache exclusivement le spectre électrique du baryum.

Par suite des mouvements de va-et-vient que subissent les électrodes de charbon dans le régulateur Gérard, les deux espaces spectraux indiqués ci-dessus se laissent apercevoir *alternativement*, tant que tout le chlorure ou l'hydroxyde n'est pas *volatilisé* ou *rejeté* au loin par le courant.

En introduisant dans l'arc, à l'aide d'une spatule de charbon de cornue purifié, de dimensions convenables, soit du chlorure, soit de l'hydroxyde de baryum, et en interposant entre l'œil et l'arc une lame de verre bleu pour ne pas fatiguer la vue outre mesure, on voit qu'à l'instant de l'arrivée du composé barytique dans l'arc, le composé se fluidifie et prend la forme sphéroïdale. Le sphéroïde reste suspendu dans l'arc jusqu'à sa réduction complète à l'état de vapeur, ou, ce qui arrive souvent, jusqu'à sa projection contre l'électrode négative, le long de laquelle il se divise en gouttelettes qui sont lancées au loin.

En répétant cette manœuvre un grand nombre de fois et en analysant prismatiquement, pendant le temps qu'elle dure, l'arc barytique, on acquiert la certitude de l'immutabilité du spectre électrique du baryum dans les conditions de l'expérience.

L'insuccès des tentatives réitérées que j'ai faites pour dissocier le baryum en calcium et strontium, m'autorise à affirmer que si, dans le spectre de l'arc électrique barytique, un observateur aperçoit les raies caractéristiques du calcium, c'est que le composé de baryum qu'il a répandu dans l'arc, ou les cônes de charbon servant de support, ou l'air dans lequel il a opéré, renfermaient du calcium. J'ajouterai que si l'on aperçoit dans le spectre électrique du baryum la raie bleue et les raies violettes du strontium, c'est que le chlorure ou l'hydroxyde de baryum mis en expérience contenaient du strontium comme *impureté*.

Il résulte de ce qui précède qu'il n'existe aucun rapport entre les spectres

Digitized by Google

du baryum et les spectres du sodium, du potassium, du lithium, du calcium et du strontium.

Pendant l'exécution des recherches que je viens d'exposer, il m'est arrivé de rencontrer, soit dans le spectre de flamme, soit dans le spectre électrique d'un composé de baryum, des *traces fugitives* des raies bleues du calcium et du strontium. Lorsque ce cas s'est présenté, j'ai toujours pu séparer, par la *voie chimique*, l'impureté que l'analyse prismatique m'avait signalée. Le fait d'avoir pu effectuer cette séparation et de simplifier, en le ramenant à une constante pour le spectre de flamme et pour le spectre électrique, prouve l'état spécifique, l'individualité du baryum.

Si tant est que cette vérité avait encore besoin d'être démontrée, les travaux que j'ai exécutés sur le potassium, le lithium, le calcium, le strontium et le baryum l'ont mise pour moi en pleine évidence. Je pense que les chimistes qui ne se laissent pas égarer par leur imagination étaient de cet avis avant mes recherches; ils conserveront cette opinion comme le résultat de l'expérience *actuellement* acquise.

CHAPITRE XI.

Recherches chimiques sur le thallium, le trioxyde, l'hydrate, le chlorure, le bromure, l'iodure, l'azotate, le carbonate et le sulfate thalleux.

Le spectre du thallium ayant été contesté, j'ai cru devoir soumettre à un nouvel examen la préparation et les propriétés du métal et de ses principaux composés. Pour cette étude, j'ai eu la chance d'avoir à ma disposition : 1° 100 grammes environ de sulfate de thallium préparé par feu Lamy lors de l'exécution de son travail sur ce métal; 2° du thallium métallique et du carbonate que je tenais de l'amitié de M. Crookes et obtenu par lui-même. Enfin, je me suis procuré du métal préparé en grand dans une fabrique de produits chimiques.

Digitized by Google

Du sulfate de thallium de feu Lamy. — J'ai commencé ces recherches à l'aide du sulfate préparé par feu Lamy. Y ayant reconnu la présence de petites quantités de sulfates d'argent, de calcium, de ferricum, de sodium et de silicium, j'ai eu recours au traitement suivant pour en opérer la séparation :

La solution bouillante et saturée de sulfate a été additionnée d'ammoniaque pure et entretenue pendant quelques minutes en ébullition dans un grand vase de platine, puis filtrée. Après la séparation de l'hydrate ferrique, le liquide a reçu de nouveau de l'ammoniaque et a été porté encore à l'ébullition pendant quelques minutes, puis filtré.

Des traces d'hydrate ferrique étant restées une deuxième fois sur le filtre, j'ai procédé à une troisième addition d'ammoniaque, suivie d'une nouvelle ébullition et d'une filtration.

Après l'élimination totale du fer, j'ai porté la solution non saturée à l'ébullition et j'y ai ajouté petit à petit du carbonate ammoniacal d'ammonium dissous pour précipiter le calcium.

Le liquide légèrement ammoniacal a été filtré après refroidissement pour séparer le carbonate calcique mêlé d'une petite quantité de sulfate thalleux cristallisé.

J'ai évaporé ensuite la solution limpide de sulfate jusqu'à siccité pour chasser l'excès de carbonate ammoniacal d'ammonium. Le sel a été repris par de l'eau saturée d'acide sulfhydrique. La solution sulfhydrique était teintée de brun.

Abandonnée à elle-même dans un vase de platine couvert d'une cloche, elle s'est colorée en violet, puis s'est complètement décolorée et éclaircie en déposant un faible précipité rouge foncé, formé de sulfures thalleux et argentique.

Le liquide limpide décanté exhalant une forte odeur sulfhydrique, a été néanmoins additionné d'un quart de son volume de solution sulfhydrique et abandonné de nouveau à lui-même en vase fermé. Après vingt-quatre heures, *il ne s'est point coloré et n'a rien déposé.*

Une solution neutre de sulfate thalleux dont on a éliminé les métaux précipitables par l'acide sulfhydrique, n'est donc pas décomposée par cet acide, contrairement à ce qui est généralement admis.

Digitized by Google

Le précipité rouge foncé, indiqué ci-dessus, recueilli sur un filtre et lavé à l'eau saturée d'acide sulfhydrique, a été abandonné à lui-même, sous une cloche, dans l'air humide. Il s'est transformé par oxydation et pour la majeure partie en sulfate thalleux, en laissant, après lavage, pour résidu une très faible quantité de sulfure d'argent.

La solution du produit de l'oxydation du précipité rouge foncé, additionnée d'eau sulfhydrique, ne s'est pas colorée ni troublée après vingt-quatre heures de réaction en vase fermé. Cette solution était formée exclusivement de sulfate thalleux neutre, inaltérable à l'acide sulfhydrique dissous. Ces faits prouvent que le sulfate thalleux neutre n'est précipité par l'acide sulfhydrique qu'en tant qu'il est associé à un métal susceptible de se transformer ainsi en sulfure insoluble.

J'ai évaporé jusqu'à siccité dans un vase de platine la solution de sulfate thalleux, et le résidu tout à fait blanc a été chauffé au rouge sombre pour détruire la petite quantité de sulfate d'ammonium et pour rendre insoluble l'acide silicique qui y était contenu.

Le sulfate a communiqué à la flamme d'hydrogène la coloration thallique, et l'analyse prismatique de cette flamme a permis de constater à la fois la raie sodique et la raie thallique *à l'exclusion de toute autre.*

Il a suffi de *quatre* cristallisations successives pour ne plus apercevoir, dans le sulfate thalleux obtenu, la raie sodique. Je ne conclus pas de ce fait à l'absence du sodium : je m'explique du reste ailleurs à ce sujet. Abandonné à l'air sous une cloche, il donne, au bout de peu de jours, la raie sodique d'une manière très prononcée.

Le sulfate thalleux cristallisé est incolore et se conserve en cet état lors même qu'il est exposé en présence de l'air à la radiation solaire directe.

J'ai fait servir ce sel à la préparation du métal pur, de son trioxyde et du chlorure thalleux.

J'ai eu recours à l'électrolyse d'une solution ammoniacale du sulfate pour me procurer à la fois le métal et son trioxyde. Voici les motifs qui m'ont fait recourir à la solution ammoniacale.

Lorsqu'on soumet à l'électrolyse une solution aqueuse saturée de sulfate, contenue dans un vase de platine, il se dépose du thallium sur l'électrode

Digitized by Google

négative en platine, et l'électrode positive se couvre d'hydrate, d'oxyde brun ou d'oxyde noir. M. Crookes a le premier observé ce fait. J'ai constaté qu'au commencement de l'électrolyse le rapport entre le poids du thallium déposé à l'état de métal et à l'état d'oxyde est très sensiblement comme 2 : 1. Ce rapport change bientôt avec la mise en liberté de l'acide sulfurique, et il arrive un moment où, à l'électrode négative, il ne se dégage que de l'hydrogène, et que l'électrode positive continue à se couvrir d'oxyde noir. Cette action se passe avec une telle régularité qu'en soumettant au courant une solution de sulfate monothallique, tout le métal est éliminé à l'état d'hydrate de trioxyde.

L'électrolyse du sulfate rendu ammoniacal s'exécute au contraire d'une manière absolument constante. En maintenant, par des additions successives, un léger excès d'ammoniaque dans le liquide, il se dépose deux parties en poids de thallium pour une partie de thallium à l'état d'hydrate brun ou de trioxyde noir, suivant la température. En opérant l'électrolyse du sulfate ammoniacal sous une cloche renfermant de l'*air purifié*, on obtient du thallium et son trioxyde à l'aide desquels on ne peut pas faire apparaître la raie sodique par l'analyse prismatique d'une flamme dans laquelle on les a répandus.

J'ai utilisé cette dernière action pour obtenir directement du métal et de l'oxyde et pour me procurer de nouveau, avec l'oxyde, du sulfate et du thallium, à l'aide desquels j'ai pu rechercher si le sulfate, le métal et l'oxyde renferment *un radical spectroscopiquement identique à lui-même.*

J'ai procédé ainsi qu'il suit : après avoir réservé une partie du métal et de l'oxyde obtenus, j'ai transformé le restant du métal, préalablement bien lavé à l'eau, en sulfate, en l'attaquant, dans un vase de platine couvert, à l'acide sulfurique dilué et pur. Pour empêcher l'attaque du vase par l'acide sulfurique, j'ai eu soin d'opérer à la température la plus basse possible, et de laisser un excès de thallium.

L'oxyde a été amené également à l'état de sulfate. A cet effet, après l'avoir tenu en suspension successivement dans de l'eau bouillante, additionnée d'acide sulfurique pur, dans de l'eau ammoniacale, et lavé enfin à l'eau pure, l'oxyde a été dissous dans une solution d'acide sulfureux, préparé dans le

Digitized by Google

platine, en ayant la précaution d'employer un excès d'acide et d'entretenir le liquide près de son point d'ébullition jusqu'à cessation de coloration en brun par l'addition d'ammoniaque, c'est-à-dire jusqu'à ce que le sulfate thalloso-thallique, formé primitivement, fût transformé complètement en sulfate thalleux par l'excès d'acide sulfureux et la chaleur. J'ai constaté ainsi que l'hydrate brun et l'oxyde noir, produits par l'électrolyse d'un sulfate, traité préalablement à l'acide sulfhydrique, se dissolvent dans un excès de solution sulfureuse, en donnant naissance à un liquique d'une limpidité absolue, fait qui ne se remarque point lorsque le sulfate renferme des traces d'*oxyde plombique,* ainsi que cela arrive souvent.

La solution du sulfate provenant du métal et la solution du sulfate obtenu à l'aide de l'oxyde, furent à leur tour additionnées d'ammoniaque pure et soumises à l'électrolyse, de manière à précipiter l'oxyde thallique sur une capsule, et le métal sur une feuille de platine.

Le métal et l'oxyde furent, après un lavage préalable à l'eau bouillante, introduits dans la flamme de l'hydrogène, et fournirent à l'analyse prismatique un spectre thallique identique à celui du sulfate primitivement employé et identique aussi à celui du métal et de l'oxyde dont ils sont provenus.

Pour être absolument certain de ne pas être induit en erreur, j'ai procédé une troisième fois à la transformation de l'oxyde en sulfate et à l'électrolyse du sulfate obtenu. L'identité du spectre produit par le métal et par l'oxyde a été complète. Je conclus de cette identité à l'existence d'un métal chimiquement pur.

J'ai transformé de nouveau la majeure partie du métal réduit et de l'oxyde en sulfate, par les moyens indiqués ci-dessus, et celui-ci en chlorure. Dans ce but, une solution aqueuse, saturée de sulfate, a été ajoutée à de l'eau contenant 10 °/₀ de son volume d'acide chlorhydrique liquide et pur. Le précipité produit a été lavé à la trompe avec l'eau renfermant 6 °/₀ d'acide chlorhydrique liquide. J'ai reconnu, en effet, qu'il était nécessaire d'ajouter à l'eau cette quantité d'acide liquide pour dissoudre le moins possible de chlorure thalleux. J'ai poussé le lavage à l'eau acide, jusqu'à entraîner la moitié environ du précipité, sans réussir à obtenir un liquide ne troublant plus une solution de chlorure de baryum.

Digitized by Google

Le précipité retenait donc de l'acide sulfurique, probablement à l'état de sulfate thalleux. Le précipité était d'une blancheur parfaite et s'est conservé absolument blanc après son exposition à la radiation solaire directe. Lamy a déjà constaté l'inaltérabilité du chlorure thalleux à la lumière. On admet cependant que l'insolation rend ce composé grisâtre; je ne lui ai reconnu cette propriété que lorsqu'il a été obtenu à l'aide de l'azotate ou du sulfate thalleux *argentifère*, et c'est presque toujours le cas quand ces sels proviennent de solutions qui n'ont pas été traitées à l'acide sulfhydrique [1].

Dans le but d'obtenir du chlorure thalleux privé d'acide sulfurique, j'ai dissous le précipité dans de l'eau en ébullition dans un vase de porcelaine couvert, et après avoir ajouté à la solution un *seizième* de son volume d'acide chlorhydrique liquide, je l'ai brusquement refroidie. J'ai répété la solution et la précipitation une seconde fois, et j'ai obtenu un chlorure thalleux grenu, absolument blanc, *inaltérable* à la lumière et privé complètement d'acide sulfurique, après un lavage à la trompe effectué à l'eau pure. Immédiatement après sa préparation, ou conservé sous l'eau *en vase de verre fermé*, il n'a donné aucun indice de la présence du sodium. Abandonné sous une cloche remplie d'air sec, il fixe très lentement du sodium, toutefois assez pour qu'au bout de quatre à cinq jours on parvienne à constater la raie sodique en même temps que la raie thallique. Je ne veux pas conclure de l'absence de la raie sodique dans le spectre thallique du chlorure immédiatement après sa production, qu'il ne contienne pas de trace de sodium. Je fais à ce sujet des réserves sur lesquelles je m'explique ailleurs.

Le chlorure thalleux, cristallisé par le refroidissement d'une solution bouillante, agité avec de l'eau froide, fournit un liquide qui ne se trouble pas par l'addition de l'acide chlorhydrique concentré, froid.

Le chlorure thalleux pulvérulent, obtenu à froid par précipitation, à l'aide de l'acide chlorhydrique en excès, d'une solution de sulfate ou d'azotate thalleux, lavé successivement à l'acide chlorhydrique au dixième et à l'eau pure, mis en suspension dans l'eau pure, fournit, après le dépôt complet,

[1] Le chlorure thalleux *argentifère* ne fournit pas les raies caractéristiques de l'argent, soit qu'on observe le spectre de flamme, soit qu'on observe le spectre électrique de ce chlorure mélangé. On aperçoit exclusivement la raie thallique.

Digitized by Google

un liquide limpide, qui se trouble abondamment par l'addition de l'acide chlorhydrique concentré.

Les chlorures thalleux cristallisés et pulvérulents se conduisent donc avec l'acide chlorhydrique comme les chlorures d'argent grenu et floconneux.

Le spectre lumineux du chlorure thalleux est identique à celui du métal, du trioxyde et du sulfate purs.

Du carbonate de thallium préparé par M. Crookes. — J'ai procédé par la voie de cristallisations successives à la purification de ce carbonate. Ce sel contenait des quantités sensibles de carbonates de baryum, de calcium et du sodium, probablement *à l'état de silicates*. Après six cristallisations, j'ai pu volatiliser le carbonate thallique sans découvrir trace de spectre barytique ou calcique, en portant dans la flamme de l'hydrogène la spire en platine qui avait servi de support au sel et qui avait été mouillée d'une solution de chlorure d'ammonium après la volatilisation du thallium. Le carbonate privé de baryum et de calcium, a fourni la raie sodique d'une manière intense et persistante. Cinq redissolutions dans l'eau pure, suivies d'une précipitation par l'alcool anhydre, n'ont pas suffi pour faire cesser l'apparition de la raie sodique; à la volatilisation, il laissait, du reste, un faible résidu fixe, très fusible, colorant en jaune la flamme de l'hydrogène et donnant, à l'analyse prismatique, exclusivement la raie sodique. J'ai dû, faute de matière, renoncer à obtenir à l'aide du carbonate remis par M. Crookes, ce sel thallique ne donnant pas la raie sodique. J'ai repris ce sujet à l'aide du carbonate préparé par moi.

Du thallium métallique de M. Crookes. — J'ai contrôlé les résultats qui précèdent à l'aide du métal préparé par M. Crookes. Ayant soumis à un même traitement le métal de M. Crookes et celui que je me suis procuré dans le commerce, je vais exposer ici le procédé suivi. Le thallium à purifier a été dissous dans de l'acide azotique dilué et la solution a été évaporée à siccité dans un vase de porcelaine. Le résidu a été transformé en sulfate à l'aide d'une quantité convenable d'acide sulfurique pur. Le sel produit, formé d'un mélange de sulfate thalleux et thallique, a été chauffé jusqu'à siccité

dans un vase de platine. J'ai dissous le résidu dans l'eau bouillante et j'ai fait passer dans la solution maintenue à température élevée un courant d'anhydride sulfureux jusqu'à ce qu'elle en répandit fortement l'odeur. Sous l'influence de l'acide sulfureux, le liquide, qui était *limpide*, s'est fortement troublé en produisant un précipité blanc formé exclusivement de *sulfate de plomb*.

Après le refroidissement complet, la solution étendue d'eau pour redissoudre du sulfate qui s'était cristallisé, a été filtrée et le liquide limpide a été chauffé et maintenu en ébullition jusqu'à ce que l'acide sulfureux fût entièrement éliminé. Ce résultat étant atteint, j'y ai fait passer un courant d'acide sulfhydrique qui l'a fortement bruni. Introduit dans un flacon bouché et abandonné à lui-même, il s'est décoloré en déposant un sulfure tout à fait noir, formé d'un mélange de sulfure de plomb, de mercure, d'argent, de thallium, de cadmium et de zinc. J'ai saturé à froid le liquide limpide par de l'acide sulfhydrique; il ne s'est plus coloré, même après vingt-quatre heures d'exposition à la lumière en vase fermé, et il n'a rien déposé. L'acide sulfhydrique a été chassé par la chaleur et la solution de sulfate refroidie a été versée dans un excès convenable d'acide chlorhydrique pour précipiter le thallium.

Le chlorure produit a été lavé par décantation d'abord, à l'aide de l'eau contenant 6 °/₀ de son volume d'acide chlorhydrique liquide, puis lavé à la trompe avec le même liquide.

L'eau mère de précipitation et les eaux de lavage ont été évaporées et examinées; le résidu ainsi obtenu contenait de notables quantités de zinc avec traces de cadmium et de fer.

Le chlorure thalleux lavé aussi bien que possible retenait de l'acide sulfurique; partant il pouvait contenir également du sulfate de zinc, etc. Je l'ai donc transformé en sulfate en le chauffant dans un vase en porcelaine avec une quantité convenable d'acide sulfurique pur. Le sel obtenu ainsi était à l'état de sulfate monothalleux; je l'ai chauffé dans un vase de platine, de manière à le ramener en sulfate bithalleux. J'ai reconnu que cette transformation exige beaucoup de précautions, car des quantités très notables de thallium peuvent être entraînées avec les vapeurs d'acide sulfurique dégagées et rendre l'air irrespirable pour l'opérateur.

Digitized by Google

Le sulfate thalleux fut repris par de l'eau bouillante et la solution fut versée encore dans un excès d'acide chlorhydrique. Le chlorure déposé par un refroidissement brusque fut lavé comme précédemment et fut transformé de nouveau en sulfate thalleux, et celui-ci à son tour en chlorure thalleux. J'ai répété une troisième fois cette transformation parce que j'avais reconnu dans le résidu laissé par l'évaporation de l'eau mère de la deuxième précipitation et du lavage du chlorure thalleux, la présence d'une quantité sensible de zinc.

J'ai converti encore en sulfate thalleux le chlorure de la troisième précipitation. La transformation du sulfate monothalleux en sulfate bithalleux devant s'effectuer dans le platine et ce métal étant légèrement attaqué par le sulfate monothalleux, le sel obtenu contenait sensiblement du sulfate platinique.

Pour éliminer ce dernier métal, j'ai eu recours à l'action successive de l'acide sulfureux et de l'acide sulfhydrique. A cet effet, j'ai maintenu vers 100°, pendant plusieurs heures, la solution de sulfate thalleux additionnée d'acide sulfureux. Après avoir réduit ainsi le sulfate platinique en sulfate platinoso-platinique, précipitable directement par l'acide sulfhydrique, j'ai chassé l'excès d'acide sulfureux par la chaleur et j'ai fait passer un courant d'acide sulfhydrique.

La solution s'est colorée en brun; elle a été maintenue dans un bain à 100°, dans un flacon fermé, jusqu'à ce que le liquide fût devenu incolore par la séparation du sulfure platinoso-platinique, qui s'effectue lentement, mais complètement, en entraînant sensiblement du sulfure thalleux.

Après sa décoloration, j'ai filtré la solution de sulfate et je l'ai chauffée pour dégager l'acide sulfhydrique dissous.

On le voit, la séparation des métaux étrangers au thallium constitue une opération laborieuse et très délicate.

L'examen auquel j'ai soumis la solution du sulfate thalleux m'a permis d'y constater la présence de l'alumine et de la soude, provenant sans doute de l'attaque des vases en porcelaine employés lors de la transformation du chlorure en sulfate thalleux. J'ai éliminé l'alumine à l'aide de l'ammoniaque pure, et j'ai eu recours à des cristallisations successives du sulfate pour me

Digitized by Google

débarrasser du sodium. Il a fallu cinq cristallisations, en écartant chaque fois les eaux mères et de lavage, pour ne plus apercevoir la raie sodique dans le sel obtenu.

Le sulfate ainsi produit m'a servi à me procurer :

1° Du thallium métallique. A cet effet, j'ai eu recours à l'électrolyse de la solution rendue ammoniacale, comme je l'ai dit ci-dessus ;

2° De l'hydrate thallique brun ou noir;

3° Du chlorure thalleux précipité et redissous ensuite à trois reprises dans l'eau bouillante; immédiatement après sa préparation, il ne fournit pas trace de raie sodique;

4° Du bromure thalleux ; j'ai constaté l'existence de trois états physiques bien distincts de ce bromure : le premier est blanc; il prend naissance lorsqu'on précipite du sulfate thalleux en *excès* par de l'acide bromhydrique; le deuxième est d'un jaune pur, mais peu foncé; il se produit lorsqu'on verse à froid dans un excès d'acide bromhydrique dilué du sulfate thalleux dissous; le troisième est d'un blanc légèrement jaunâtre; il se forme lorsqu'on dissout dans de l'eau bouillante, soit le bromure blanc, soit le bromure jaune, ou lorsqu'on expose sous l'eau l'un ou l'autre de ces bromures à la radiation solaire directe. La lumière n'exerce aucune action décomposante sur le bromure thalleux, à moins qu'il ne contienne du bromure d'argent. Immédiatement après sa production et son lavage, il ne fournit pas à l'analyse prismatique de trace de raie sodique; il en est de même lorsqu'il est conservé sous l'eau en vase fermé. Abandonné à l'air libre, il donne, au bout de peu de jours, la raie sodique à l'analyse spectrale;

5° De l'iodure, par double décomposition à l'aide de l'iodure d'ammonium pur; l'iodure obtenu en versant une solution d'iodure d'ammonium dans un excès de sulfate thalleux dissous est blanc jaunâtre, inaltérable à la lumière; il contient du sulfate entraîné, qu'une longue digestion dans de l'eau à 100° ne parvient pas à enlever complètement. L'iodure produit en versant dans un excès d'iodure d'ammonium une solution de sulfate thalleux, est d'un jaune sale, inaltérable à la lumière; il retient également du sulfate thalleux qu'on parvient à séparer en le laissant digérer à froid dans une solution diluée d'iodure d'ammonium. Après l'action prolongée de l'iodure d'ammonium, il

Digitized by Google

est d'un jaune plus prononcé et plus pur. Lavé ensuite à l'eau et introduit dans la flamme de l'hydrogène, il donne le spectre thallique seul. Abandonné à l'air sous une cloche, il fournit, au bout de peu de jours, la raie sodique.

A l'aide du thallium métallique obtenu par l'électrolyse du sulfate soumis à *cinq* cristallisations successives, en écartant chaque fois les eaux mères, je me suis procuré :

1° Une solution d'hydrate thalleux; j'ai préparé cet hydrate en exposant sous une cloche, dans un creuset de platine couvert, du thallium bien lavé, cristallisé, dépourvu complètement de sodium, à l'action de l'air purifié et de l'eau. Le métal couvert à *moitié* d'eau, très brillant d'abord, se ternit rapidement et finit par se noircir; au bout de quelques jours, il a complètement disparu. Au fond du liquide tout à fait incolore et très alcalin, se trouve une petite quantité d'hydrate de trioxyde noir. La solution d'hydrate thalleux donne à l'analyse prismatique des signes persistants de la présence du sodium dans la flamme, quoique la coloration imprimée à celle-ci par l'hydrate soit d'une pureté remarquable de teinte et caractéristique de la flamme thallique.

Il m'a été impossible d'évaporer à siccité la solution dans le platine ou dans l'or, sans attaquer ces métaux.

2° Du carbonate thalleux dissous et cristallisé. Pour préparer ce sel, j'ai abandonné, sous une cloche, à l'air chargé d'anhydride carbonique, du thallium à moitié submergé d'eau pure contenue dans un vase de platine couvert. Le métal se transforme en entier en carbonate qui se dissout complètement si la quantité d'eau est suffisante. La dissolution est incolore, et quoique préparée avec du métal, de l'eau et de l'anhydride carbonique ne donnant pas de trace de raie sodique, elle fournit néanmoins des signes persistants de la présence du sodium, emprunté sans aucun doute à l'air de la cloche.

Il suffit de précipiter par de l'alcool anhydre et par la solution aqueuse, et de laver convenablement le carbonate à l'alcool à 90° pour obtenir un sel à l'état pulvérulent, pouvant être volatilisé complètement sans donner le moindre indice de la raie sodique. Je répéterai ici ce que j'ai déjà dit : la non-apparition de la raie sodique ne prouve nullement l'absence du sodium dans le carbonate.

Digitized by Google

Le carbonate de thallium cristallisé ou pulvérulent, pur, est incolore et peut être exposé à la radiation solaire directe sans se colorer. Abandonné pendant quelques jours, sous une cloche, à l'air, il fournit des signes non équivoques de la présence du sodium.

3° De l'azotate thalleux dissous et cristallisé. J'ai obtenu la dissolution de ce sel en attaquant par le métal pur de l'acide azotique distillé directement dans un vase de platine qui venait d'être chauffé au blanc. La solution, immédiatement après sa production, ne donne aucun indice de la raie sodique. Abandonnée sous une cloche à l'évaporation, à côté d'un vase contenant de l'acide sulfurique, elle fournit des prismes incolores, inaltérables à l'air et à la lumière. Ces prismes, introduits dans la flamme de l'hydrogène, fournissent des indices certains de la présence du sodium.

La solution aqueuse d'azotate cristallisé, versée dans de l'alcool anhydre et pur, fournit, après un lavage convenable à l'alcool à 90°, un précipité pulvérulent qui, introduit dans la flamme de l'hydrogène, ne donne à l'analyse prismatique aucune trace de raie sodique.

Les propriétés offertes par tous les composés de thallium indiqués ci-dessus corroborent les observations faites sur la présence du sodium dans l'air et la condensation de ce métal par les corps qu'on y expose pendant un certain temps. Les composés de thallium se condensent donc par rapport à l'air comme tous les corps que j'ai soumis à un examen attentif.

Digitized by Google

CHAPITRE XII.

Caractères imprimés aux flammes, à l'étincelle et à l'arc électriques par le thallium et ses composés.

Spectres lumineux du thallium.

On sait qu'au mois de mars 1861, M. Crookes, en faisant l'analyse prismatique d'une flamme dans laquelle il avait répandu du résidu de certains séléniums, constata dans le spectre de cette flamme, colorée en vert, l'apparition d'une raie verte, d'une grande richesse. Il attribua la coloration de la flamme et l'apparition de la raie verte à l'existence d'un élément nouveau, auquel il donna le nom de thallium. Dès le 16 mai 1862, feu Lamy prouva que l'élément découvert par M. Crookes était un métal. On connait les travaux publiés postérieurement par M. Crookes et par feu Lamy sur les propriétés physiques et chimiques du thallium et de ses composés; mon intention n'est pas de revenir ici sur ce sujet. Je me bornerai à dire que M. Crookes et Lamy étaient d'accord pour assigner une raie *unique* au spectre du thallium. A la demande de Lamy, MM. Bunsen et Kirchhoff soumirent, au commencement de 1863, la flamme du métal de Lamy à l'analyse prismatique, et constatèrent l'apparition d'une raie qu'*ils ne parvinrent pas à dédoubler en employant le grand spectroscope qui avait servi à M. Kirchhoff pour son étude du spectre solaire*. Ils assignèrent à la raie unique le n° 1442,6 de l'échelle du spectroscope de M. Kirchhoff.

Vers la même époque, feu Miller fit l'étude spectroscopique du thallium et de son sulfate préparé par M. Crookes. En introduisant successivement le métal et son sulfate dans la flamme de l'hydrogène et dans le gaz oxhydrique, il reconnut également l'apparition d'une raie unique.

Il constata toutefois que le métal de M. Crookes, répandu dans l'étincelle d'induction, fournit un spectre plus compliqué, renfermant les raies caractéristiques du cadmium, du zinc et du plomb.

Dans son ouvrage publié en 1874, M. Lecoq de Boisbaudran attribue

Digitized by Google

une seule raie au spectre électrique du thallium et de ses composés; mais il assigne au spectre de flamme *deux raies vertes,* l'une d'une intensité colorante extrême, l'autre d'une faible intensité colorante.

M. Bunsen reprit ce sujet vers la même époque. Les résultats de ses investigations sont consignés dans ses *Spectral-analytische Untersuchungen.* En opérant sur du chlorure thalleux purifié avec les plus grands soins, il trouva que le spectre de flamme et le spectre électrique de ce composé sont formés exclusivement d'une seule raie, dont il indique la position respective sur l'échelle du micromètre de son spectroscope.

Enfin, M. Livieng, dans un travail publié en 1883 sur les spectres ultraviolets des éléments, assigne un spectre très complexe au thallium.

Ces divergences me déterminèrent à soumettre à une revision complète les méthodes employées pour se procurer du thallium pur et ses principaux composés, dans le but de m'assurer si les différences constatées dépendent exclusivement du manque de pureté des matières mises en action par les observateurs, ou si elles peuvent ou doivent être imputées soit au mode d'investigation pratiqué, soit aux analyseurs employés.

En entreprenant cette étude, je voulais également rechercher s'il est possible d'obtenir du thallium et ses principaux composés qui, répandus dans une flamme ou dans l'étincelle ou l'arc électrique, ne fournissent aucune trace de raie sodique, et si l'on parvient, par suite d'une élévation de température, à déterminer l'apparition dans le spectre thallique d'une des raies caractéristiques du potassium, du lithium, du calcium, du strontium et du baryum.

Dans la notice qui précède, sont consignées les recherches que j'ai faites dans le but de me procurer du thallium et ses composés toujours identiques à eux-mêmes. Je me permets de renvoyer à cette notice les chimistes qui désirent connaître ces recherches; je me bornerai à exposer ici les études spectroscopiques faites à l'aide des matières premières, d'après l'ordre que j'ai suivi et qui est indiqué dans la notice.

Spectre de flamme du sulfate de thallium de Lamy. — J'ai commencé mes observations à l'aide du sulfate préparé par Lamy, dont j'avais éliminé les matières étrangères. Introduit dans la flamme de l'hydrogène pur, il la

Digitized by Google

colore en vert d'une grande pureté de teinte. L'analyse prismatique de la flamme dans laquelle avait été répandu le sulfate purifié et soumis ensuite à quatre cristallisations successives, a permis de constater l'apparition d'une seule raie, la raie verte thallique, connue de tous les chimistes. En substituant la flamme bleue obscure du gaz de l'éclairage à l'hydrogène pur, j'ai constaté exclusivement l'apparition de la raie unique, mais il s'en faut de beaucoup que la couleur de la flamme thallique d'un brûleur de Bunsen *bien construit*, ait la pureté de teinte de la flamme thallifère de l'hydrogène pur : on y reconnait un mélange de vert et de bleu. La flamme est plus verte dans les couches extérieures et plus bleue à mesure qu'on pénètre dans les couches plus profondes.

Le sulfate de thallium introduit, au bout d'une boucle de platine couvert d'iridium, dans la flamme de l'hydrogène porté à l'incandescence par son mélange avec l'oxygène, c'est-à-dire dans la flamme bleue de l'hydrogène, la colore en vert *incomparablement plus pâle* que dans l'hydrogène brûlant avec une flamme obscure. Le même phénomène se présente avec la flamme du gaz oxycarbohydrique.

Lorsqu'on le reprend à l'aide d'une boucle en fil fin de platine couverte d'iridium, ou d'un cône de charbon de cornue purifié, dans le cône interne du gaz oxhydrique, ou oxycarbohydrique, la teinte thallique de la flamme est tellement altérée qu'elle semble avoir disparu ; elle ne devient reconnaissable qu'à une distance de 1 à 2 centimètres du point de contact.

Le spectre du sulfate de thallium dans l'hydrogène rendu incandescent, ou dans le cône interne du gaz oxhydrique ou oxycarbohydrique, se compose de la raie verte *unique*. Dans l'hydrogène incandescent, l'espace spectral est formé d'une bande *obscure*, sillonnée exclusivement par la raie unique.

Les radiations thalliques éteignent les radiations de l'hydrogène incandescent. Pour se convaincre de l'exactitude de ce fait, il suffit d'introduire du sulfate de thallium dans l'hydrogène rendu incandescent *au point* de faire apparaître un spectre continu intense ; à l'instant même de l'introduction, le spectre continu est éteint et remplacé par une bande obscure sillonnée par la raie unique verte. Les faits se passent tout autrement lorsqu'on porte le sulfate dans le cône interne du gaz oxhydrique ou oxycarbohydrique, et qu'on

Digitized by Google

fait l'analyse prismatique de cette partie de la flamme. On constate bien l'apparition d'une seule raie, mais l'espace spectral n'est plus obscur : il est illuminé par un spectre continu. Étant deux, pour l'observation, et une troisième personne étant chargée de l'introduction du sulfate dans le cône interne, les deux observateurs peuvent constater alternativement l'espace spectral obscur ou illuminé d'un spectre continu, sillonné d'une raie unique, suivant qu'ils effectuent l'analyse prismatique sur une partie éloignée du cône interne ou sur le cône interne lui-même. D'après les conditions, les radiations thalliques peuvent donc éteindre ou sont impuissantes à éteindre les radiations de l'hydrogène porté à l'incandescence.

Les radiations du sulfate thallique éteignent instantanément le spectre hydrocarboné.

En opérant sur du sulfate thalleux ne donnant pas la raie sodique lorsqu'il est répandu dans la flamme de l'hydrogène pur, brûlant dans l'air pur, j'ai été impuissant à provoquer l'apparition de la raie sodique par l'élévation de la température, soit que j'aie employé le dard oxhydrique ou le dard oxycarbohydrique. L'expérience, du reste, est difficile à faire à cause de la grande volatilité du sulfate.

Elle réussit le mieux avec du blanc d'iridium. J'ai disposé une couche épaisse de ce blanc sur un petit bloc de charbon de cornue purifié encastré dans un petit bloc de magnésie comprimée et qui avait été longtemps chauffée à blanc dans un creuset de charbon de cornue purifié. Après avoir chauffé au dard oxhydrique l'iridium au point de *s'agglutiner,* j'ai laissé tomber petit à petit du sulfate à sa surface. La raie thallique a apparu exclusivement dans l'espace spectral illuminé d'un spectre continu, ou dans une bande obscure, suivant qu'on a observé la flamme thallique près du support ou à un et demi à deux centimètres du support d'iridium; mais en aucun cas la *raie sodique* D ne s'est montrée, *ni aucune autre raie.*

En introduisant dans le cône interne du dard oxhydrique, ou du dard oxycarbohydrique, un petit cône de charbon de cornue purifié, pénétré et entièrement couvert de sulfate thalleux fondu, on observe identiquement le même spectre, c'est-à-dire la raie unique verte dans un espace spectral illuminé ou obscur, suivant la partie du dard considérée prismatiquement.

Digitized by Google

En se servant, pour effectuer l'analyse spectrale, du grand spectroscope de M. Hilger, muni de ses *six* prismes de spath d'Irlande, dont le pouvoir dispersif est tel qu'on aperçoit aisément, entre D_1 et D_2 du spectre solaire, *sept* raies, la raie thallique ne se dédouble pas, ce qui confirme l'observation faite en 1863 par MM. Bunsen et Kirchhoff; le seul changement qu'on constate, et qui est *constant*, est l'affaiblissement considérable de la teinte verte lorsque l'observation se fait sur un espace spectral illuminé.

L'impossibilité d'apercevoir la raie sodique dans le spectre du sulfate thallique prouve-t-elle l'absence absolue du sodium dans la vapeur du composé soumis à l'analyse prismatique? Les faits que je vais exposer tendent à démontrer qu'on doit répondre avec réserve à cette question. Il est indubitable que le sulfate thallique, avant d'avoir été soumis à des cristallisations répétées, laisse apercevoir la raie sodique d'une manière intense et persistante, et qu'après ces cristallisations répétées on ne parvient plus à déterminer l'apparition de la raie sodique. Il est certain aussi que le sulfate privé ainsi de sodium susceptible d'être découvert par l'analyse prismatique, abandonné à l'air pendant quelques jours sous une cloche, donne des signes positifs de la présence du sodium. Arrivé à cette limite, on constate que l'intensité colorante de la raie sodique est très affaiblie, que les radiations thalliques exercent une influence considérable sur cette intensité colorante et qu'elles parviennent à éteindre ou du moins à rendre invisibles les radiations sodiques, du moment que celles-ci sont renfermées dans une limite donnée. Quand on est parvenu à se procurer du sulfate thallique ne fournissant plus la raie sodique dans l'hydrogène brûlant dans l'air pur, et qu'on porte ensuite le même sulfate dans la flamme d'une lampe de Bunsen brûlant dans l'air, donnant la raie sodique, mais *affaiblie*, on constate, en même temps que l'apparition de la raie thallique, la disparition instantanée de la raie sodique. Si la contamination de l'air est telle qu'on aperçoit dans la flamme des étincelles jaunes, comme cela arrive presque toujours dans l'air en mouvement, on observe la disparition de la raie sodique continue, et l'apparition d'une raie sodique intermittente affaiblie. Il semble donc évident que la lumière thallique exerce un pouvoir d'extinction sur la lumière sodique. Ce pouvoir, du reste, paraît fort limité pour le sodium, mais suffisant toutefois

Digitized by Google

pour autoriser le doute sur le fait de savoir s'il est possible de se procurer du thallium ou un composé thallique privé absolument de sodium.

Je résous la question dans sa généralité, parce que j'ai reconnu la même propriété à tous les composés thalliques dont il me reste à rendre compte.

Après avoir constaté ces faits, j'ai employé le sulfate thalleux, purifié, à la préparation du métal, de son trioxyde et de son chlorure.

Dans la notice précédente, j'ai donné tous les détails nécessaires et je me permets d'y renvoyer.

Spectre de flamme du thallium du sulfate de Lamy. — Le thallium de l'électrolyse de ce sulfate, introduit au bout d'un fil de platine recourbé dans la flamme de l'hydrogène ou d'une lampe de Bunsen, y brûle avec un vif éclat et colore ces flammes comme le sulfate dont il est provenu. L'analyse prismatique ne permet d'apercevoir que la seule raie verte, d'une intensité colorante extrême. J'ai renouvelé l'essai lorsque l'air renfermait des quantités très sensibles de sodium sans parvenir à faire apparaître la raie sodique dans l'espace spectral obscur, sillonné de la raie verte.

Une partie du même thallium, abandonné pendant trois jours dans l'air sec d'une armoire bien fermée, a enlevé à cet air suffisamment de sodium pour que, introduit ensuite dans la flamme de l'hydrogène, il fournit les raies sodique et thallique jusqu'à la volatilisation complète du métal. Dans l'hydrogène porté à l'incandescence par sa combustion dans l'oxygène, le thallium brûle avec un éclat incomparable. Lorsque la fente du collimateur est suffisamment étroite, l'espace spectral est obscur et sillonné de la seule raie verte, d'une intensité colorante extrême. Si, au contraire, la fente est assez large pour donner à la raie verte une largeur d'au moins un millimètre, il apparaît un spectre continu de C à F des raies de Fraunhofer, et l'intensité colorante de la raie est considérablement diminuée. A cause de la vive illumination, *des raies pourraient exister et échapper à la vue.* J'ai fait, à deux reprises, l'analyse prismatique de la flamme oxhydrique qui avait passé sur du blanc d'iridium chauffé près de son point de fusion, et sur lequel je laissais tomber de petits globules de thallium. J'ai vu la raie thallique isolée dans un spectre continu partiel. Il m'a été impossible de faire

Digitized by Google

apparaître trace de raie sodique ou d'autres raies, ou de dédoubler la raie thallique en faisant l'analyse à l'aide du grand spectroscope de M. Hilger, muni de ses *six* prismes, ou à l'aide du réseau Rutherford, en substituant celui-ci au prisme du spectroscope de Steinheil. J'ai fait cette dernière expérience avec le concours de M. Fievez. J'ose affirmer qu'à l'aide d'une température dépassant le point de fusion de l'iridium, on ne parvient pas à faire naître trace de sodium ou *du moins à apercevoir la raie sodique,* lorsque le thallium soumis à l'expérimentation ne donne pas le spectre sodique à *basse température.*

Spectre du trioxyde de thallium du sulfate de Lamy. — J'ai répété plusieurs fois avec le trioxyde les observations que j'ai faites avec le métal formé en même temps que lui. Lorsqu'on plonge une boucle en fil de platine dans du trioxyde de thallium bien lavé, séché rapidement et fondu dans du platine rougi au préalable à blanc pour chasser le sodium apporté par l'air, et qu'on porte ensuite la boucle couverte de trioxyde dans la flamme de l'hydrogène ou d'un brûleur de Bunsen, ou dans l'hydrogène incandescent, on observe, à l'intensité près, les mêmes faits. L'analyse prismatique permet d'apercevoir la seule raie verte, soit qu'on fasse l'observation avec une fente très étroite ou avec une fente assez élargie pour faire naître un *commencement* de spectre continu ou un spectre continu *complet.*

Ainsi, point de doute : le métal et le trioxyde obtenus en même temps à l'aide de l'électrolyse du sulfate ammoniacal purifié, fournissent le même spectre que le sulfate lui-même et formé de la raie verte unique.

J'ai transformé en sulfate la majeure partie du métal et du trioxyde de l'électrolyse. Après avoir constaté l'identité du spectre des sulfates produits ainsi, j'ai soumis séparément à l'électrolyse leur solution ammoniacale. Le métal et le trioxyde qui sont provenus de chacun d'eux ont fourni encore des spectres identiques, caractérisés par la seule raie verte. Enfin, à l'aide du nouveau métal et du trioxyde, j'ai reproduit des sulfates. Le thallium et le trioxyde de la *troisième régénération*, introduits successivement dans la flamme de l'hydrogène, dans la flamme obscure du gaz de l'éclairage, dans l'hydrogène porté à l'incandescence, et enfin dans le dard oxhydrique à la

Digitized by Google

température la plus élevée possible, ont fourni, par l'analyse prismatique, un spectre formé soit d'une bande obscure, soit d'une bande lumineuse, l'un et l'autre sillonnés d'*une seule et unique raie verte*, non susceptible d'être dédoublée.

Tel est, en réalité, le spectre du *métal* contenu dans le sulfate de thallium préparé par feu Lamy.

Spectre de flamme du chlorure de thallium. — J'ai converti en sulfates la majeure partie du métal et du trioxyde obtenus, et ces sulfates en chlorure de thallium; après lavage, il a été dissous à deux reprises dans l'eau bouillante, et la solution a été précipitée à l'acide chlorhydrique. Convenablement privé, à la trompe, de l'eau mère et introduit, à l'aide d'une boucle en fil de platine couvert d'iridium, dans la flamme de l'hydrogène pur, dans la flamme d'un brûleur de Bunsen et dans l'hydrogène porté à l'incandescence, il a fourni, par l'analyse prismatique de ces flammes, un spectre caractérisé par une raie unique verte, dans un espace obscur ou illuminé, suivant que la fente du collimateur était étroite ou plus ou moins ouverte. La boucle en fil de platine n'est pas attaquée par le chlorure de thallium; le spectre thallique disparaît avec la volatilisation du chlorure, phénomène qui ne s'observe point avec le métal et le trioxyde qui attaquent et pénètrent le platine.

Je reviendrai plus loin sur la *position* de la raie du chlorure de thallium, fixée déjà par M. Bunsen.

Abandonné sous une cloche à la dessiccation, il fixe du sodium, mais assez lentement pour ne laisser apercevoir la raie sodique qu'au bout de quatre à cinq jours d'exposition à l'abri des poussières de l'air.

Spectre de flamme du carbonate de thallium de M. Crookes. — Après avoir séparé les petites quantités de baryum et de calcium contenues dans le carbonate de thallium que m'a remis M. Crookes, ce sel, introduit dans la flamme de l'hydrogène ou dans le gaz oxhydrique, a fourni à l'analyse prismatique un spectre formé de la raie thallique et de la raie sodique. Aucune autre raie n'a été visible. J'ai exposé dans la notice précédente les motifs pour lesquels je ne suis pas parvenu à me débarrasser de cette dernière raie. Je reviendrai plus loin sur le spectre du carbonate de thallium pur.

Digitized by Google

Spectre de flamme du thallium de M. Crookes et du métal obtenu en purifiant le thallium fourni par le commerce. — J'ai exposé très au long, dans la notice précédente, le moyen que j'ai employé pour purifier le thallium brut remis par M. Crookes. J'ai appliqué la même méthode à la préparation du thallium retiré du métal que je me suis procuré dans le commerce.

Le résultat final ayant été le même, je puis me borner à dire que le métal obtenu à l'aide de l'électrolyse du sulfate ammoniacal a fourni un spectre identique à celui du métal que j'ai préparé par l'électrolyse du sulfate ammoniacal purifié de feu Lamy. En variant les moyens de volatiliser le métal, en opérant sur *sept échantillons différents,* l'aspect spectral obscur ou illuminé, suivant la largeur de la fente du collimateur, a toujours été formé par la seule et même raie verte. Le spectre de flamme du thallium est donc bien celui décrit primitivement par MM. Crookes, Lamy, Bunsen et Kirchhoff.

J'en dirai autant du spectre du trioxyde produit en même temps que le métal par l'électrolyse du sulfate ammoniacal. La vapeur de ce trioxyde, obtenue à la température voisine du point de fusion de l'iridium, n'a fourni, à l'analyse prismatique, que la raie verte unique sur fond obscur ou illuminé, suivant la largeur de la fente et la partie de la vapeur considérée.

Cette conclusion est confirmée par les observations que j'ai faites sur le spectre de flamme du chlorure, du bromure et de l'iodure, obtenus à l'aide du sulfate qui a servi à la production du thallium et de son trioxyde. En effet, le spectre de ces trois composés thalliques est identique à celui du métal retiré du sulfate et identique au spectre du sulfate du chlorure et du métal de Lamy.

Mes recherches sur le bromure et sur l'iodure m'ont permis de constater que ces composés n'impriment pas à la flamme de l'hydrogène la teinte d'un vert intense et *pur* que l'on observe avec le métal, le trioxyde, le sulfate et le chlorure. A quantité égale de métal répandu dans la flamme, la teinte de celle-ci est beaucoup plus pâle, terne, virant vers le bleu. Il m'a semblé qu'à la température de la combustion de l'hydrogène et du gaz de l'éclairage dans l'air, et, à plus forte raison, à la température de l'incandescence de l'hydrogène par la combustion dans l'oxygène, le bromure et l'iodure sont

Digitized by Google

dissociés, que le brome et l'iode sont mis en liberté et concourent ainsi à altérer la couleur propre à la flamme thallique.

Quoi qu'il en soit du fait et de la cause, le spectre thallique est le même quand à l'*unité* de raie.

Du spectre de flamme de l'hydrate, du carbonate et de l'azotate thalleux obtenus directement à l'aide du métal pur. — J'ai voulu pousser mes investigations aussi loin que possible. Dans ce but, j'ai transformé en hydrate, en carbonate et en azotate thalleux une partie du métal cristallisé en larges feuillets, obtenu par l'électrolyse du sulfate pur. Dans la notice précédente, j'ai indiqué les moyens employés à cet effet.

J'ai eu l'occasion de constater aussi l'identité du spectre de l'hydrate, du carbonate et de l'azotate thalleux avec le spectre du métal dont ils sont provenus. J'ai reconnu en même temps qu'au moment de leur production, l'hydrate et le carbonate contenaient du sodium qu'ils avaient probablement emprunté à l'air qui a servi à l'oxydation du métal, tandis que la solution de l'azotate ne présentait pas la raie sodique immédiatement après la dissolution du métal dans l'acide azotique pur; mais qu'abandonné à l'évaporation spontanée, l'azotate cristallisé donnait la raie sodique, à l'égal du carbonate cristallisé, et qu'il suffisait de les redissoudre et de précipiter leur solution par l'alcool anhydre pour les priver de sodium au point de ne plus donner le spectre sodique en même temps que le spectre thallique.

Des travaux qui précèdent, je conclus que le spectre de *flamme* du thallium et des composés qu'il est possible d'obtenir dans un degré de pureté suffisant, est formé exclusivement de la seule raie à laquelle on doit la découverte de ce métal.

Du spectre électrique du thallium et de ses principaux composés. — J'ai commencé cette étude par l'observation du spectre électrique du sulfate et du chlorure thalleux, obtenus à l'aide du sulfate de Lamy. On a fait éclater une étincelle d'induction, d'une bobine avec condensateur, donnant des étincelles de cinq centimètres de longueur, entre des sphéroïdes de platine placés de deux à trois millimètres de distance, et enveloppés de sulfate ou de chlo-

Digitized by Google

rure fondu ou humecté. En opérant avec ces composés fondus, l'étincelle est *à peine* colorée en vert; elle est au contraire d'un vert pur et très intense lorsque le sulfate et le chlorure sont mouillés de leur solution. Par l'analyse prismatique de l'étincelle thallifère éclatant, soit dans le sens vertical, soit dans le sens horizontal, et en se servant d'une fente suffisamment *étroite*, l'espace spectral est formé d'une bande *obscure*, sillonnée d'une raie *unique*, d'un vert pur peu intense avec le sulfate et le chlorure fondus, et d'un vert pur et d'une intensité extrême lorsque ces composés sont maintenus humides.

Dans les conditions indiquées, c'est-à-dire avec les sulfate et chlorure purifiés et l'intensité des phénomènes électriques donnée ci-dessus, la *raie sodique* et *les raies atmosphériques font complètement défaut.*

Pour m'assurer de la cause réelle de l'absence de la raie sodique et des raies atmosphériques, j'ai substitué aux sphéroïdes en platine couverts de sulfate ou de chlorure, des sphéroïdes en platine pur, fixés également à 2 à 3 millimètres l'un de l'autre. Après avoir fait éclater une série d'étincelles et avoir constaté l'apparition de la raie sodique et des principales raies atmosphériques *sans interrompre le courant*, j'ai enduit successivement les sphéroïdes d'une pâte *liquide* de sulfate et de chlorure purs. Au moment même de la coloration *verte* des étincelles, l'espace spectral, qui était plus ou moins lumineux par les raies atmosphériques, est devenu obscur, les raies atmosphériques et la raie sodique ont disparu et ont été remplacées par une seule raie fortement colorée en vert pur. Les radiations thalliques de l'étincelle éteignent la raie sodique et les raies atmosphériques. Ce pouvoir d'extinction est réel, quoique très limité.

En enduisant des sphéroïdes en platine de sulfate thalleux humecté et sur lequel on a condensé, en l'exposant à l'air, sous une cloche, une quantité suffisante de sodium pour faire apparaître d'une manière persistante la raie sodique dans le spectre thallique de *flamme*, le spectre thallique *électrique* présente, quoique à un *faible* degré, la raie sodique. Les raies atmosphériques *apparaissent* ou *disparaissent* suivant l'intensité relative des phénomènes électriques.

L'étincelle dissocie le sulfate et le chlorure thalleux; on constate, en effet, qu'après son passage ces composés sont fortement noircis et couverts de peroxyde de thallium.

Digitized by Google

J'ai contrôlé le spectre électrique thallique fourni par le sulfate et le chlorure thalleux préparés avec le sulfate de Lamy purifié, en me servant successivement de *sulfate*, de *chlorure*, de *bromure*, d'*iodure*, de *carbonate*, d'*azotate* préparés par moi, avec le thallium qui m'a été remis par M. Crookes et avec le thallium que j'ai acquis dans le commerce. En employant ces composés à l'état de pureté parfaite, j'ai observé identiquement le même spectre formé d'une raie verte unique. C'est l'azotate thalleux, produit en dissolvant le métal de l'électrolyse dans l'acide azotique distillé à l'instant même dans le platine, qui a fourni le plus rapidement, le plus sûrement le spectre électrique, formé d'une raie unique, avec le maximum d'intensité colorante. L'intensité lumineuse est telle qu'il est indispensable de rétrécir fortement la fente du collimateur pour se mettre à l'abri de l'apparition d'un spectre continu partiel, surtout en faisant l'observation à l'aide d'une étincelle éclatant dans le sens vertical. En opérant à l'aide d'une solution préparée à l'instant par l'action du métal sur l'acide azotique, sur laquelle on fait éclater l'étincelle, on est certain de ne faire apparaître ni spectre continu, ni raies atmosphériques, ni d'autres raies que la raie thallique verte unique. En employant de l'azotate thalleux contenant une petite quantité d'azotate d'*argent*, on observe également la raie thallique unique. Les raies caractéristiques de l'argent font défaut. En ce qui concerne le spectre électrique du *métal* thallium, j'ai institué les recherches suivantes :

Après avoir couvert *complètement* de thallium *pur* fondu, des sphéroïdes de platine ou de petits cônes de charbon de cornue purifié, terminés en pointe, récemment rougis et engagés par leur base dans un fil épais de platine, je les ai disposés *horizontalement*, à une distance de *deux* à *trois* millimètres l'un de l'autre, devant la fente du collimateur du spectroscope Steinheil et j'ai fait passer successivement une *étincelle d'induction*, une *décharge* ou un *courant d'une pile* donnant, *après contact préalable*, un arc de longueur égale à la distance entre les deux pointes, c'est-à-dire 2 à 3 millimètres.

L'analyse prismatique de l'*étincelle* ou de la décharge m'a fait constater un espace spectral obscur, sillonné de la raie verte thallique, avec une raie sodique très affaiblie, *privé* ou *accompagné* de raies atmosphériques suivant l'intensité relative de l'étincelle ou de la décharge.

Digitized by Google

Dans l'espace spectral, fourni par l'analyse prismatique de l'*arc électrique*, j'ai constaté l'apparition de la raie thallique intensément colorée en vert, ainsi qu'une *faible* raie sodique, mais nulle trace de raies atmosphériques, ni d'autres raies, quelles qu'aient été l'*intensité* et la *direction* du courant.

Au moment de l'exécution de ces expériences, l'analyse prismatique d'une forte étincelle permettait d'apercevoir dans l'espace spectral, à côté des raies atmosphériques, la raie sodique intensément colorée.

Ainsi *dans l'air*, le spectre électrique du thallium métallique est le même que celui du chlorure, de l'oxyde, du sulfate, de l'azotate, etc., de ce métal. Comme le chlorure, l'azotate et le sulfate de thallium se dissocient sous l'influence de l'étincelle et qu'il se produit dans ce cas de l'oxyde noir de thallium, on peut se demander si, en opérant dans l'air, on a bien le spectre du métal et non pas celui de l'oxyde.

Pour me renseigner à ce sujet, j'ai repris les expériences en opérant dans un tube de verre dur, large de *quatre* et long de *dix* centimètres, rempli d'hydrogène pur. J'avais eu soin de chauffer dans un courant d'hydrogène le thallium fondu et coulé en cylindres terminés en pointe ou du thallium adhérent aux sphéroïdes de platine et aux cônes de charbon purifié, de manière à rendre le métal très brillant et à entraîner du thallium avec l'hydrogène dégagé. Au point de vue du spectre thallique, les résultats ont été les mêmes : j'ai constaté, en effet, qu'avec une étincelle de faible intensité, l'espace spectral est sillonné d'une raie verte unique. On n'aperçoit *ni raie sodique, ni aucune autre raie*. L'espace spectral de *fortes décharges* est sillonné de *trois* raies : une d'un rouge pâle, à contours nets, située à 36^d; une deuxième d'un vert pur et intense, la raie thallique, à $65^d,5$ et une troisième d'un vert bleuâtre très pâle, nuageuse, $85^d,0$ du micromètre du spectroscope Steinheil. Or, les raies $36^d,0$ et $85^d,0$ correspondent à C et à F des raies de von Fraunhofer; elles appartiennent à l'hydrogène dans lequel la décharge a eu lieu. Après avoir constaté ces faits, j'ai cherché à découvrir la raie bleue 118,6, appartenant également à l'hydrogène, mais tous mes efforts sont restés impuissants, même en changeant l'analyseur et la direction des pôles.

En me servant du spectroscope de M. Hilger, muni de ses six prismes,

Digitized by Google

l'analyse prismatique de l'arc électrique *faible* ou *intense*, éclatant entre les cônes de charbon de cornue couverts de thallium, ne m'a permis de constater la présence que de la raie *unique* thallique, quoique j'aie répandu ainsi dans l'hydrogène une quantité de vapeur de thallium suffisante pour couvrir *rapidement* la partie supérieure du tube servant de réservoir, d'un miroir très brillant de métal et obscurcir, au point de rendre opaques, en très peu de temps, les parois du tube.

Dans le spectre de l'arc électrique thallique d'une pile formée de trente éléments de Bunsen du plus grand modèle, l'intensité colorante de la raie verte est singulièrement affaiblie par l'illumination de l'espace spectral, due à la production d'un spectre continu intense. Pour bien reconnaître la raie, on est obligé de rétrécir la fente du collimateur près de son point de fermeture. L'intensité lumineuse de l'espace spectral dépasse de beaucoup l'illumination, si considérable déjà, qu'on constate dans l'espace spectral de la vapeur de thallium portée par le chalumeau oxhydrique au point de fusion de l'iridium. *Les raies de l'hydrogène, et même d'autres raies, pourraient donc exister sans que l'œil soit capable d'en constater la présence.* Je ne puis guère comparer l'intensité lumineuse de l'espace spectral de l'arc voltaïque thallique qu'à l'intensité lumineuse de l'espace spectral qu'on constate en dirigeant sur la *surface du soleil* le collimateur d'un spectroscope *à faible pouvoir absorbant.* Dans cette condition, en effet, en se servant du spectroscope Steinheil, il m'est impossible d'apercevoir les raies de von Fraunhofer, quelque rétrécie que soit la fente du collimateur du spectroscope.

En se tenant dans les conditions de la possibilité de l'observation PAR LA VUE, je dois dire que le spectre électrique du thallium se compose *d'une raie unique, non susceptible d'être dédoublée,* absolument comme le spectre de flamme de ce métal, et que *l'électricité n'est pas plus en état de le dissocier que la chaleur.*

Comme des observateurs ont constaté un spectre thallique électrique compliqué en employant du thallium qu'ils n'avaient pas préparé eux-mêmes, je crois être en droit de conclure que le métal sur lequel ils ont opéré était autre que celui que Bunsen, Lecoq de Boisbaudran et moi, nous avons employé.

Digitized by Google

Il me reste à exposer les recherches que j'ai tentées pour m'assurer si la position de la raie thallique du spectre de flamme et du spectre électrique, est identique.

De la position de la raie thallique, du spectre de flamme et du spectre électrique.

Dans ses *Spectral-analytische Untersuchungen*, M. Bunsen, dont j'ai pris les travaux comme terme de comparaison, par le motif que j'ai disposé entre autres d'un spectroscope identique au sien, a assigné à la raie thallique du spectre de flamme et du spectre électrique une différence de position s'élevant à 0,6 de division du micromètre à projection lumineuse de son appareil. A la vérité, entre la position du centre de la raie sodique de flamme et du centre de la raie sodique électrique, les tableaux portent une différence de 0,5 division. Cette différence est, au minimum, le double de l'erreur moyenne admissible pour la mesure de la position d'une raie d'un spectre électrique, en se servant d'un micromètre à projection lumineuse. J'ai tenu à m'assurer si cette différence tient à une erreur d'observation, ou si, malgré l'unité de raie, la position de la raie thallique de flamme, de l'étincelle ou de l'arc électrique n'est pas la même. Pour résoudre cette question, j'ai institué les recherches que je vais essayer d'exposer.

En ce qui concerne le spectre thallique de flamme, dont la mobilité est grande, je me suis convaincu bientôt qu'en introduisant dans une flamme d'hydrogène, ou d'une lampe de Bunsen, placée *devant* le collimateur, du thallium ou un de ses composés, on peut commettre, sur la position de la raie, une erreur s'élevant à 0,75 de division du micromètre à projection lumineuse, suivant la position donnée à la flamme devant le collimateur, et la partie de la flamme dans laquelle le thallium est introduit. Ce fait se présente soit qu'on recherche le centre de la raie, en amenant, d'après le conseil de M. Lecoq de Boisbaudran, « *la croisée des fils alternativement de gauche à droite, ou de droite à gauche* » de ce centre, soit qu'on procède par *estime* ainsi que le pratiquent ceux qui, dans les *pesées*, au lieu de chercher l'équilibre par *addition de poids*, jugent les élongations autour du zéro par la position de la pointe de l'aiguille de la balance, au point d'arrêt *momentané*.

Digitized by Google

D'après ma longue expérience, ce système permet de faire des lectures exactes au moins au *dixième*, et avec de l'habitude, au vingtième d'une division du cadran, cette division n'eût-elle qu'un millimètre d'étendue. J'ai eu constamment recours à ce système de lecture, non seulement à cause de la rapidité de son exécution, mais surtout parce qu'il dispense de toucher à la lunette du spectroscope, dont les mouvements risquent d'entraîner le déplacement du micromètre.

Pour obtenir la fixité de position la plus grande possible de la raie thallique, j'ai été obligé de substituer à la flamme d'une lampe le dard que l'on obtient en brûlant, sous *pression constante* de 2 à 3 centimètres d'eau à l'aide du chalumeau employé par M. Matthey pour la soudure autogénique du platine, un mélange en proportion convenable de gaz de l'éclairage et d'air atmosphérique emmagasinés *séparément* sous l'eau dans de grands gazomètres.

En adaptant au chalumeau, muni de ses robinets de réglage de gaz, un ajutage de platine percé d'une ouverture d'*un demi-millimètre* de diamètre, on peut à volonté obtenir un dard *vertical, immobile* (grâce à l'emploi d'écrans), de *sept* à *dix* centimètres de hauteur et de *cinq* à *six* millimètres de diamètre, coloré en bleu foncé ou en bleu pâle, suivant le volume de l'air mêlé dans le chalumeau au gaz de l'éclairage et la pression sous laquelle les gaz s'écoulent. J'ai fixé le chalumeau sur un support à crémaillère et j'ai porté celui-ci sur la planchette gauche placée sur l'établi portant le spectroscope. J'ai décrit cette planchette dans l'introduction de mes *Recherches spectroscopiques*.

Le chalumeau a été disposé devant le collimateur de manière à faire coïncider exactement le *bord droit* du dard avec l'axe du collimateur. J'ai réalisé cette coïncidence en recherchant la position dans laquelle on aperçoit dans l'espace spectral, un commencement de spectre continu par l'introduction d'une boucle en fil fin de platine dans le dard. Après avoir réglé la cinquantième division du micromètre du spectroscope Steinheil sur le D des raies de von Fraunhofer, j'ai mis un *point* du bord droit en contact successivement avec du thallium, du chlorure, du sulfate, de l'azotate de ce métal adhérent à une boucle en fil fin de platine. J'ai amené ce contact en plaçant le porte-objet sur

Digitized by Google

la planche de droite, décrite également dans l'introduction, et en faisant mouvoir lentement celle-ci à l'aide de la vis sans fin. Le pas de la vis étant très fin, on est certain de ne pénétrer que d'une fraction de millimètre dans le dard. Cette faible pénétration est indispensable, à cause de la grande volatilité du métal et de ses composés, pour obtenir une mince lame de vapeur thallique. D'ailleurs, si l'on pénètre trop avant dans le dard, la provision thallique adhérente à la boucle est épaissie avant que le pointage soit terminé.

Pour me mettre à l'abri d'erreurs provenant de la position donnée au dard, j'ai eu soin de *déplacer* et de *replacer, après chaque mesure de position*, le dard et le porte-objet, en laissant le réticule en place. Je pouvais évaluer par *estime*, de $0^d,05$ à $0^d,10$ près, la différence entre le centre de la raie thallique après les déplacements et les remplacements successifs. Ces déplacements et ces remplacements s'exécutent, du reste, facilement et rapidement, grâce aux planchettes qui se meuvent à l'aide de vis sans fin.

En opérant dans une chambre obscure, j'ai obtenu les positions suivantes pour la raie du spectre de *flamme* $D = 50^d,00$.

		Différence de la moyenne.
Métal	$65^d,40$	— $0^d,10$
	65,25	— 0,25
	65,60	+ 0,10
Chlorure	65,60	+ 0,10
	65,45	— 0,05
	65,65	+ 0,15
Sulfate	65,30	— 0,20
	65,45	— 0,05
	65,60	+ 0,10
Azotate	65,55	+ 0,05
	65,70	+ 0,20
	65,40	— 0,10
MOYENNE	$65^d,50$	

La moyenne est donc $65^d,50$, avec un écart moyen de ± $0^d,125$, égal à celui que l'on constate dans la mensuration des raies de von Fraunhofer. Je dirai même que la mesure du *centre* d'une raie brillante fixe m'a semblé plus facile et susceptible d'une plus grande exactitude que celle d'une des raies de von Fraunhofer.

Digitized by Google

Pour la mesure de la position de la raie du spectre électrique du thallium, j'ai substitué au dard immobile, successivement, une étincelle *courte* d'une bobine sans condensateur, éclatant entre de gros fils de platine terminés par des sphéroïdes en iridium pur, recouverts abondamment soit de thallium, soit de chlorure, et un arc électrique *court*, éclatant entre de petits cônes de charbon de cornue purifié, recouverts également abondamment de thallium ou de chlorure. J'ai posé le porte-objet isolé sur la planchette de droite devant le collimateur, à une hauteur convenable. J'ai disposé horizontalement les fils de platine terminés en sphéroïdes et les cônes de charbon recouverts. En faisant mouvoir la vis sans fin de la planchette de droite, j'ai amené exactement dans l'axe du collimateur le centre de l'espace séparant ces sphéroïdes et les cônes, et j'ai inscrit des repères sur cette planchette et l'établi portant le spectroscope, afin de pouvoir ramener toujours à la même position le centre de l'espace compris entre les pôles.

Après avoir mis la 50e division du micromètre en coïncidence avec D des raies de Fraunhofer, on a établi le courant par le contact préalable des cônes, et j'ai amené le réticule sur le centre de la raie thallique produite. Tout en laissant continuer les étincelles, j'ai fait mouvoir la vis sans fin de la planchette de droite pour *déplacer* les sphéroïdes et les cônes, de manière à faire disparaitre la raie thallique. On a ramené ensuite, à l'aide de la vis sans fin, le centre de l'espace compris entre les sphéroïdes et les cônes à sa position première, ce qui s'est effectué rapidement en avançant la planchette sur le repère inscrit sur l'établi. J'ai évalué par *estime* la position du réticule, qui était resté immobile, par rapport au centre de la raie thallique reproduite. Entre chaque déplacement et remplacement, je me suis assuré par le passage d'un rayon de lumière solaire que la 50e division de l'échelle coïncidait bien avec le D des rieas de Fraunhofer. Dans un temps relativement court, j'ai pu amener *cinq fois* la disparition et la réapparition de la raie thallique et mesurer ainsi l'écart dans la position du centre de cette raie.

J'ai, du reste, contrôlé les observations faites par cette méthode en cherchant le déplacement qu'éprouve le centre de la raie en répétant la mensuration dès l'instant de l'apparition de la raie, jusqu'à sa disparition par suite d'un mouvement successif en *avant* et en *arrière* de l'espace compris entre les sphéroïdes et les cônes enduits de thallium ou de l'un de ses composés.

Digitized by Google

J'ai reconnu ainsi que pour une distance de 5 à 6 millimètres entre les pôles, le déplacement est insensible pour les deux tiers de cette longueur; il se confond avec l'erreur que l'on commet dans l'évaluation de la position qu'occupe, par rapport au centre de la raie, le réticule qui la détache en noir sur celle-ci.

Voici les résultats des observations, très fatigantes pour la vue, que j'ai effectuées dans une chambre obscure :

A. Dans le centre de l'étincelle, longue de 3 à 5 millimètres.

		Différence de la moyenne.
1° Métal	65ᵈ,60	+ 0ᵈ,10
	65,45	— 0,05
	65,55	+ 0,05
	65,40	— 0,10
	65,55	+ 0,05
2° Chlorure	65,45	— 0,05
	65,60	+ 0,10
	65,50	+ 0.00
	65,40	— 0,10
	65,65	+ 0,15

B. Au centre de l'arc électrique, long de 3 à 4 millimètres.

		Différence de la moyenne.
1° Métal	65ᵈ,35	— 0ᵈ,15
	65,55	+ 0,05
	65,60	+ 0,10
	65,45	— 0,05
	65,55	+ 0,05
2° Chlorure	65,70	+ 0,20
	65,45	— 0,05
	65,40	— 0,10
	65,55	+ 0,05
	65,50	+ 0,00
Moyenne	65ᵈ,51	

La moyenne des mesures est donc $65^d,51$, avec un écart moyen de $\mp 0^d,085$. La moyenne des mesures de la position de la raie thallique de flamme étant $65^d,50$, avec un écart moyen de $\pm\ 0^d,125$, on doit conclure

à l'identité de position de la raie thallique électrique et de la raie thallique de flamme.

En me servant du grand spectroscope de M. Hilger, muni de ses six prismes de spath d'Islande, et prenant *pour repère le spectre solaire*, j'ai constaté, *avec une certitude complète*, l'identité de position de la raie thallique observée *successivement* dans le *dard* oxhydrique et dans l'*arc* électrique thallifères.

Depuis l'exécution de ces mesures et la rédaction de cette notice, j'ai eu l'occasion de soumettre les observations qui précèdent à un nouveau contrôle. MM. Liveing et Dewar ayant mis gracieusement à ma disposition le nouveau spectroscope à vision directe imaginé par eux, je me suis empressé de me servir de cet excellent instrument pour vérifier la position respective de la raie thallique de flamme et de la raie électrique; j'ai constaté ainsi l'*identité de position des deux raies.*

Il en est donc du thallium comme du carbone et du potassium, dont les raies de flammes et les raies électriques occupent respectivement la même position dans l'espace spectral.

J'ai soumis à une revision, en collaboration avec M. Depaire, les faits consignés ci-dessus, et notamment les observations relatives à l'unité de raie et de position du spectre thallique de flamme et du spectre thallique électrique, à l'extinction d'un faible spectre sodique calorifique, en d'autres termes, à la non-visibilité de la raie D, sous l'influence des radiations thalliques calorifiques.

Nous avons effectué ces observations en employant, d'une part, du thallium métallique, du trioxyde, du chlorure, du bromure, de l'azotate et du sulfate ayant servi aux recherches exposées ci-dessus, et, d'autre part, en y consacrant du sulfate de thallium préparé par M. Depaire,

Pour exécuter ce contrôle, nous avons eu successivement recours à un spectroscope monoprisme et à un spectroscope bi-prisme de flint de Duboscq; à un spectroscope bi-prisme en quartz de Hilger; à un spectroscope de Hilger muni d'un réseau Chapmann; enfin à un spectroscope à vision directe de Liveing et Dewar dont le pouvoir dispersif est égal au spectroscope Duboscq muni de cinq prismes de 60 degrés. Quel qu'ait été le composé

Digitized by Google

thallique employé, que nous ayons examiné le spectre thallique calorifique dans l'air, ou le spectre thallique électrique dans l'hydrogène, les résultats observés ont été identiquement les mêmes que ceux exposés ci-dessus.

Nous avons trouvé le spectre thallique calorifique et le spectre thallique électrique composés d'une raie unique d'un vert intense, tels que Bunsen les indique dans ses Nouvelles recherches, et nous avons constaté l'identité de position de cette raie unique dans les deux spectres. En nous servant d'un spectroscope muni d'un réseau, en remplacement de spectroscopes à prismes, nous ne sommes pas parvenus à dédoubler ou à opérer le double renversement de la raie thallique.

Nous avons contrôlé ces résultats dans un arc électrique de 2 $^1/_2$ centimètres de longueur sur 8 millimètres de diamètre, jaillissant entre des électrodes de carbone pur. Ce contrôle nous a permis de faire les observations suivantes.

A. En ce qui concerne l'aspect de l'arc électrique thallifère.

En faisant tomber, à l'aide d'une aiguille de carbone pur, dans le cratère d'où jaillit l'arc, du thallium ou un composé de ce métal tel que le chlorure ou le sulfate, mais de préférence un globule de métal, on constate : 1° que la couleur bleu foncé du fuseau devient instantanément d'un *bleu pâle;* 2° que la partie de l'enveloppe du fuseau qui est rouge, devient d'un *blanc éblouissant;* 3° que l'enveloppe externe rose du fuseau se colore en *vert intense.*

En répétant l'introduction du métal dans l'arc au point de répandre dans l'air des flots de vapeurs thalliques fort dangereuses à respirer, nous avons reconnu la parfaite exactitude des observations ci-dessus.

A la température de l'arc, la vapeur du thallium semble donc être d'un bleu pâle ou d'azur. La couleur de la première et de la seconde enveloppe est corrélative à la température de chacune d'elles, températures inférieures à celle du fuseau.

B. En ce qui concerne le spectre de l'arc carboné thallifère :

A l'instant même de l'introduction du thallium dans l'arc, on constate que l'intensité lumineuse des raies carbonées, variable du reste suivant la distance

Digitized by Google

entre l'arc et le collimateur, s'accentue notablement, mais que cette intensité lumineuse est incomparablement inférieure à celle de la raie thallique d'un vert très vif et intense qui vient se juxtaposer entre les raies vertes carbonées relativement livides. La position de la raie thallique interposée et juxtaposée, est exactement celle qu'elle occupe dans le spectre de flamme et dans le spectre électrique thalliques. Tous les efforts que nous avons faits pour nous assurer de l'apparition d'autres raies, soit en deçà, soit au delà de la raie verte thallique proprement dite, sont restés impuissants. En nous servant du spectroscope Hilger, muni du réseau Chapmann, nous ne sommes pas parvenus à effectuer le dédoublement de la raic thallique ni à en opérer le double renversement, fait qu'on réalise si facilement pour D dans l'arc électrique sodique.

L'observation du spectre thallique calorifique ou électrique faite *par la vue*, ne permet donc de reconnaître qu'une raie unique, verte. Ce métal n'est pas susceptible d'être dissocié en d'autres corps par les forces dont nous disposons actuellement. Il constitue une individualité à part, comme les autres corps qui ont fait l'objet de mes investigations.

Digitized by Google

理性

L'ÉCOLE PHILOSOPHIQUE MODERNE DE LA CHINE

OU

SYSTÈME DE LA NATURE (*SING-LI*);

PAR

Ch. de HARLEZ,
MEMBRE DE L'ACADÉMIE

(Présenté à la Classe des lettres dans la séance du 3 mars 1890.)

Digitized by Google

Digitized by Google

INTRODUCTION.

Les systèmes philosophiques que nous nous proposons d'exposer et d'expliquer en ces pages sont les œuvres principales d'une école qui a jeté un vif éclat du XI[e] au XIII[e] siècle de notre ère et dont les principes règnent encore aujourd'hui dans la Chine entière, parce qu'elle est la seule qui ait donné à l'empire chinois une philosophie digne de ce nom, un système plus ou moins achevé.

L'exposé théorique qui forme le chapitre *Hong-fan* [1] (IV, p. IV) du Shuh-king était trop incomplet et trop succinct pour mériter ce titre. Kong-fou-tze et ses disciples, jusqu'au célèbre Meng-tze lui-même, ne s'étaient guère préoccupés que de la morale et des règles du gouvernement. Lao-tze seul avait cherché à pénétrer les mystères de l'être et de son origine, du premier principe, de la dernière *causa rerum*. Mais ses recherches n'avaient

[1] Ce chapitre contient un long enseignement révélé par Shang-ti (le maître suprême, Dieu), à Yu, le successeur de Shun, vers 2100. Il y est parlé des éléments, des principes gouvernementaux, des vertus morales, de la divination, des jugements, des phénomènes célestes et de leur signification.

Les cinq éléments qui composent tous les êtres et forment comme la substance du ciel sont l'eau, le feu, le bois, le métal et la terre.

L'homme a cinq principes moraux : la forme extérieure, la parole, la vue, l'ouïe, la pensée-volonté (les Chinois ne les distinguent pas).

« L'observation des préceptes moraux, des devoirs, a une influence substantielle sur la nature physique. Quand la vertu grave règne, la pluie vient à propos; le temps est généralement serein quand tout est réglé avec ordre; la chaleur convenable au temps est un signe de la sagesse des hommes, etc. »

Au-dessus de tout est Shang-ti, mais il n'est que le régulateur de toutes choses; nulle part, du moins, il n'est donné comme le créateur des êtres, même inférieurs. Voilà, à part des règles morales, les seuls enseignements que nous puissions recueillir de ce livre.

Digitized by Google

eu qu'une étendue des plus restreintes et, le plus souvent, l'imagination et la spéculation vague avaient été ses guides. Ses disciples, du reste, n'avaient pas été beaucoup plus loin que lui; la plupart même n'avaient point continué son œuvre et, parmi ceux qui, à tort ou à raison, se réclamaient de son nom, beaucoup n'avaient guère fait que disserter sur les vertus morales ou pratiquer les sciences occultes, si pas une parfaite jonglerie.

Toutefois, il y en eut parmi les disciples de Lao-tze qui ne se contentèrent point de ce rôle secondaire et cherchèrent à édifier par eux-mêmes quelque chose qui ressemblât à un système. Parmi ceux dont les souvenirs révèlent des réflexions personnelles, nous devons une mention spéciale à Tchuang-tze, et parce que ses idées philosophiques ne sont point méprisables, et parce que l'ensemble de son système a été jusqu'ici mal apprécié; on ne le connaissait qu'imparfaitement et par des extraits détachés qui donnaient du tout une idée très inexacte. On l'a représenté comme un sceptique de la pire espèce, ne croyant à la réalité de rien, et l'on invoquait comme preuve ce passage où il raconte qu'il rêva un jour être papillon et se demande lequel de ces deux états, d'insecte ou d'homme, est le vrai, le réel. Mais ce n'est là qu'un jeu d'esprit, et vingt autres passages démontrent que ce doute n'est point sérieux chez lui. Car, à côté de cela, Tchuang-tze dogmatise et enseigne les principes de l'ontologie et de la morale sans en rien révoquer en doute. Il semble aussi enseigner l'identité des contraires, à la manière d'Héraclite et de Hegel. Mais ici encore il faut combiner les diverses parties de son livre pour ne point se laisser prendre par des termes trop absolus.

Tchuang-tze veut combattre la manie confucéenne de tout diviser en principes opposés, en notions contradictoires. Il veut établir que les contraires ne sont point des entités différentes, des principes d'essences différentes, mais plutôt des relations, et que tout vient se résoudre dans l'unité de l'être absolu et s'y fondre. On doit concilier dans le *un* le positif et le négatif, selon Tchuang-tze, mais il ne dit pas de les identifier. Il est, en outre, des plus affirmatifs dans les principes essentiels, et là on ne peut apercevoir aucune trace de scepticisme, ni d'idéalisme pur. Ce qui trompe en lui, c'est qu'il aime parfois les paradoxes et que parfois aussi il jongle

Digitized by Google

avec les mots, avec des idées miroitant devant ses yeux sans qu'il se rende exactement compte de leur compréhension ou de leur extension.

« Le vrai sage, dit-il, tout en constatant l'identité des contraires, se conforme aux lois immuables du ciel. »

Tchuang-tze reconnaît à l'univers un maître qui en dirige toute l'action: c'est *Shang-ti* ou *T'ien;* mais au-dessus de lui il y a le *Tao,* qui ne paraît point conçu comme un être personnel, mais à peu près comme le *dharma,* la loi bouddhique, la loi du ciel, le *t'ien* chez les Chinois. C'est un principe universel, omnipotent, qui donne à tout, à Dieu même, son pouvoir, qui existait avant tout.

L'unité parfaite de l'être est dans l'être suprême et le Tao; ce que l'homme a d'universel lui en vient; ce qu'il a de particulier est de l'humanité. Le souverain suprême du monde est le père de l'homme. L'homme lui appartient; son individualité, sa vie ne sont que des propriétés déléguées par Dieu.

En l'homme, il y a un principe qui supporte, meut et dirige tous les appétits et mouvements : c'est l'âme; elle provient de l'être suprême. Le maître suprême (Dieu) est le régulateur et non le formateur du monde, encore moins son créateur. La vie et la mort viennent du destin, mais leur ordre, leurs rapports, sont de ce régulateur suprême.

Le Tao est la loi des corps comme des esprits, car c'est pour l'avoir obtenu que Fou-hi établit les principes éternels et que le soleil comme la lune et la Grande Ourse n'ont jamais cessé de se mouvoir dans leur orbite sans en dévier jamais. Un insecte porte le *Tao* en lui-même (chap. XXII). Toutefois, il est immatériel (chap. XXV).

La nature du Tao est éternelle et sans division de temps; en lui, la prolongation de la vie n'ajoute pas à l'existence.

D'après le chapitre VI, les sages, selon Tchuang-tze, se considèrent comme une même chose avec Dieu et ne distinguent point le divin et l'humain; la vie est pour eux comme une tumeur dont la mort les délivre. Bien qu'admettant des éléments distincts, ils ont pour fondement de leur système et de leur être l'unité de tous les êtres. Ils ne voient ni commencement, ni fin dans l'éternité; ils aspirent au delà des misères et des

Digitized by Google

souillures de l'humanité, au royaume du repos. Ils doivent ressembler au Tao.

« Le Tao couvre et supporte toute chose; sans lui, les êtres ne peuvent être doués de vie.

» Le *Tao* du souverain être opère incessamment et toutes les choses sont produites. Le Tao du souverain opère incessamment et l'empire se soumet à lui tout entier, etc. »

Quant au repos, à l'inaction, il l'explique de cette manière (l. XIII, *init.*) : Le repos du sage n'est pas ce que le monde appelle repos. Son repos est le produit de la conduite de son intelligence, rien ne peut troubler son milieu fixe, et de là il est en repos.

L'espace et le temps sont infinis; l'absolu est inconditionné.

Au chapitre XXI, nous trouvons ce passage, qui a pu inspirer les auteurs du Sing-li : « Le principe complètement négatif est passif et majestueux. Le principe complètement positif est puissamment actif. La passivité émane du ciel et l'activité de la terre [1]. Leur concours simultané aboutit à cette harmonie qui a produit toute chose [2]. Il peut y avoir une cause première, mais on n'a jamais vu sa forme. » Ceci est en contradiction avec tout le système de Tchuang-tze; ce doit être une interpolation. On retrouve cependant les deux principes au chapitre XXV, où il est dit que le Tao les embrasse tous deux.

Outre Tchuang-tze, on trouve encore par-ci, par-là, dans l'école laoïenne, l'un ou l'autre philosophe dont le système témoigne d'une originalité réelle et est vraiment digne de l'attention des penseurs. Nous devons, à ce titre, une mention spéciale à l'auteur d'un livre qui porte le nom de Li-tze [3] et dont les parties fondamentales appartiennent certainement à un philosophe

[1] Ceci est le contraire des opinions de nos philosophes.

[2] La corruption, destruction, devient animation, vie; le monde est pénétré d'un seul fluide vital.

[3] Jusqu'à ces derniers temps, on avait cru généralement qu'il avait existé un philosophe de ce nom auquel on devait le livre qui le porte; il paraît aujourd'hui certain que le Li-tze dont parle Tchuang-tze est une pure création d'imagination, et que le livre dont nous parlons ici a été fabriqué sous les Han. Quoi qu'il en soit, et quel qu'en soit l'auteur, cet ouvrage existe et contient un système philosophique que l'on ne peut passer sous silence. (Cf. Balfour, *Leaves from my chinese Scrapbook*. Chap. X. — H. Gile, *Tchuang-tze*, pp. 94, 227, etc.)

Digitized by Google

sérieux et original, bien qu'elles soient malheureusement déparées par des récits de merveilles où le surnaturel côtoie fréquemment le ridicule. Les principes fondamentaux de ce livre sont bien ceux du Tao-te-king, qui s'y trouve fréquemment cité; mais ces derniers y sont modifiés et complétés, de façon à faire du livre du disciple de Lao-tze une œuvre personnelle. Qu'on en juge d'après les premiers mots de l'ouvrage :

« Il y a un engendreur qui est inengendré, un moteur [1] qui ne se meut pas. L'inengendré peut engendrer la vie, l'immobile peut produire la suite des mouvements. Le vivant ne peut engendrer que la vie; le moteur ne peut que produire le mouvement. L'engendreur ne peut point ne pas engendrer, le moteur ne peut pas ne point mouvoir. Ce sont là les deux forces originaires, les quatre saisons de l'année [2].

« L'engendreur des êtres, lui-même inengendré, le moteur immobile est sa propre vie, son propre mouvement, sa propre forme, sa propre sagesse, sa propre force, sa propre croissance et décroissance (ou : la vie, le mouvement même, etc.). Cependant il serait erroné de l'appeler la vie, le mouvement, la forme, l'intelligence, etc. »

Aux conceptions du Tao-teh-king, Li-tze (?) ajouta, entre autres traits importants, le développement successif des êtres, quasi-darwinien, et la métempsychose [3].

Li-tze n'a certainement point été le seul qui se soit livré à des spéculations de ce genre. On peut citer entre autres Kwan-yin-tsi, le disciple-auditeur de Lao-tze, Yin-wen-tze, Hu, le maître de Li-tze, Nan Kwo-tze et bien d'autres encore.

Mais ils ne sont guère sortis d'un certain cercle d'idées. Il serait du reste presque téméraire de porter un jugement général sur la philosophie chinoise. Les écrits philosophiques n'ont jamais manqué à l'empire des Fleurs. La seule époque de la dynastie Tang (618-905), qui précéda les Songs (960-1278), en compta jusqu'à 751 et la plupart nous sont entièrement inconnus.

1 Le mot chinois indique le mouvement de marche.

2 Idée reçue en Chine, partout et toujours; la régularité des quatre saisons est la plus haute expression de la loi de la nature.

3 Empruntée aussi à l'Inde.

Digitized by Google

Jusqu'à cette dernière époque, tout reste concentré et divisé entre les trois grandes écoles religieuses qui partageaient la Chine : la morale confucéenne, le taoïsme et le bouddhisme.

Cependant une nouvelle conception s'était fait jour, venue on ne sait d'où, introduite à une époque inconnue. C'est celle des deux principes originaires dont les combinaisons produisent tous les êtres particuliers, à savoir « le principe moteur, spontanément actif, producteur » et « le principe par soi immobile, substantiel, réceptif ou réagissant » ; l'un représentant plus particulièrement le ciel, la lumière et l'esprit ; l'autre, la terre, l'obscurité et la mort, principe appelés le *yang* et le *yin,* ou le *k'ien* et le *kwun.*

L'origine de cette conception, l'époque de son introduction en Chine nous sont inconnues. Dans les trois livres confucéens et dans celui de Meng-tze, il n'en est fait aucune mention. Le Shuh-king ne la connait pas davantage. Dans ces livres, les mots *yin* et *yang,* très rarement employés du reste, désignent la clarté et l'obscurité, les endroits exposés aux rayons du soleil et ceux que l'ombre occupe, la vie publique et la vie retirée.

Au Shuh-king (V. XX, 5) nous les trouvons dans ce passage :

« Les trois grands ministres dissertent des principes de justice, règlent les choses de l'État, établissent l'harmonie et l'équité en tout ce qui est apparent et caché » (*yin, yang*). Ce que Legge traduit : les opérations du ciel et de la terre, mais sans aucun motif.

Au Yih-king, nous trouvons pour la première fois cette double notion, sous sa seconde forme *kiēn, kwiēn,* dans les deux premiers chapitres de ce livre ; mais il est impossible de dire si ces deux sections ne sont pas plus récentes que le reste et n'ont pas été ajoutées après coup. Le Yih, dont on trouve des extraits au Tso-tchouen du *Tchün-tsiu,* était certainement assez différent de celui que nous possédons. Mais c'est seulement dans les commentaires du Yih que nous voyons apparaître le yin et le yang. On peut voir dans l'admission de ce double principe un emprunt fait aux régions de l'Asie occidentale, en tant surtout que les mots yin et yang ont pu désigner l'obscurité et la lumière. Mais en Chine ils n'ont plus ce sens qu'accessoirement, et leur fonction principale en philosophie est de désigner les deux agents producteurs qui se différencient surtout au point de vue du mouvement et de l'action, comme on le verra plus loin.

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, c'était là le système régnant quand, avec l'avènement de la dynastie des Songs, s'ouvrit une période d'études philosophiques qui répandirent un brillant éclat et donnèrent à la philosophie chinoise sa constitution définitive.

Les fondateurs de la nouvelle école et ses maîtres autorisés sortaient des rangs des disciples de Kong-fou-tze; aussi prétendirent-ils toujours rester fidèles aux enseignements du maître, du prince des philosophes. En effet, au point de vue des principes moraux et de l'art gouvernemental, ils ne s'écartèrent jamais de ses doctrines. Pour le reste, le champ semblait leur rester librement ouvert; Kong-tze n'avait point disserté expressément de métaphysique ni de psychologie. Aussi usèrent-ils de cette liberté apparente pour formuler des systèmes que le grand maître eût bien probablement réprouvés, car ils n'étaient guère d'accord avec les croyances religieuses de l'époque confucéenne, croyances que le philosophe partageait certainement, comme il ressort indubitablement de certaines phrases incidentes rapportées dans les mémoires confucéens [1]. Aussi ces innovations ne furent-elles pas acceptées sans contestation ni difficulté; elles furent la cause de la disgrâce de Tchou-hi et ne triomphèrent qu'avec la réhabilitation de ce philosophe. Depuis lors, elles n'ont plus rencontré d'opposant sérieux; elles ont même été admises par la majorité des lettrés chinois, qui ont donné à cette philosophie le nom de *Sing-li* ou principe rationnel de la nature. Cependant, comme le remarque avec justesse W. Grube, dans les *Mélanges asiatiques*, t. VIII, p. 687, si les livres de l'école de Confucius ont été l'objet de l'attention générale et de commentaires nombreux, tant en Europe qu'en Chine, les traités qui ont servi de base au système de la philosophie de la nature ont été négligés d'une façon tout à fait imméritée. Les deux plus anciens seulement ont été publiés et traduits, le premier par M. G. von der Gabelentz, le second par M. W. Grube.

Le choix de ceux qui méritent une étude particulière n'est cependant point difficile à faire; les Chinois se sont chargés de la besogne, comme on va le voir.

[1] Comp. ma *Religion des premiers Chinois*, p. 25 et *La religion en Chine*, p. 30.

Digitized by Google

La première expansion des études philosophiques renouvelées avait donné naissance à un nombre d'écrits si considérable qu'il devenait absolument impossible d'en prendre une connaissance, même superficielle. C'est ce qui décida l'empereur Tcheng-tsu des Ming à faire faire un choix des meilleurs et de les réunir en un seul ouvrage auquel il donna le nom de *Sing-li ta-tchuen shuh,* ou grande collection de la philosophie de la nature, d'après le terme employé par Tchen Tchun, disciple de Tchou-hi. Le *Sing-li ta-tchuen* parut en 1415; il contenait des écrits de 120 lettrés en 70 volumes. Mais on s'aperçut bientôt que ce livre était plein de défauts, comme cela devait être d'après sa nature et le mode de sa composition. Aussi lisons-nous dans la préface écrite par l'empereur Kang-hi lui-même et dans le rapport adressé à ce prince par son secrétaire Li Kouang-ti :

« Le *Sing-li ta-tchuen* n'était pas à l'abri des reproches de légèreté, négligence et ennui; dans le choix des matières on avait confondu l'essentiel et l'accessoire, les contradictions y abondaient; aussi bien peu de gens l'avaient, depuis lors, lu et étudié. »

Kang-hi le fit donc réduire aux proportions nécessaires, retranchant l'inutile, la pompe et la longueur des discours, pour s'en tenir à la substance, à l'essentiel des principes.

Par ordre de Kang-hi, une nouvelle collection fut formée et parut en 1717 (an 56), sous le titre de *Sing-li tsing-i,* « sens, caractère véritable de la philosophie de la nature. »

Cet ouvrage contient beaucoup de choses dont nous n'avons pas à nous occuper ici; ce sont la théorie des tons musicaux, l'usage du Yih-King pour la divination, le système et la matière des études, les principes du gouvernement et le traité des rites domestiques.

Nous avons donné une traduction commentée de ce dernier dans la collection elzévirienne de M. E. Leroux, de Paris.

Quant aux autres matières, si elles ont, aux yeux des Chinois, un caractère philosophique, elles n'en ont point pour nous; c'est pourquoi nous les laisserons de côté.

Restent sept traités que l'on peut considérer comme les *summa capita* de la Philosophie de la Nature, et dont nous devons parler ici spécialement.

Digitized by Google

Le fondateur de la nouvelle école fut Tcheou Tun-i, autrement dit Tcheou-tze, qui vécut de 1017 à 1073, occupa de hautes fonctions et s'adonna spécialement aux études philosophiques. Il posa le fondement du système dans un petit écrit portant le titre de *Tai Kih t'u* ou tableau du principe suprême, où il figura, par des images, les bases de l'ontologie, puis les développa dans un traité subséquent, intitulé *T'ong shuh*, ou « livre, traité approfondi ». Ces deux livres sont naturellement mis en tête de la collection du *Sing-li*. On a contesté à Tcheou-tze l'invention du *Tai-Kih* (principe suprême) et de son tableau, sans apporter de preuves. Tchou-hi déclare avoir examiné la question avec soin et n'avoir rien découvert qui permît de soutenir cette dénégation. (Voir la préface du *Tai-Kih t'u* au Sing-li, §§ 16-20.)

Tcheou-tze eut de nombreux disciples, mais deux d'entre eux se signalèrent particulièrement. Ce furent Tchang-tsai (1020-1077), appelé aussi Tchang-tze et Tchang ming tao, après sa mort; puis Shao Yong ou Shao-tze (1057-1134), célèbre aussi par un long commentaire du Yih-king.

Tchang-tze avait ouvert une école et dans son enseignement il se servait spécialement, comme manuels, de deux traités qu'il avait pendus aux murs de la salle, à l'ouest et à l'est; de là le nom qui leur avait été donné de Si-ming et Tong-ming, ou Manuel de l'Ouest et Manuel de l'Est. Le premier n'est qu'une simple leçon de morale dont nous n'avons pas à nous occuper ici. Nous en donnerons ailleurs la traduction [1]. Le second, au contraire, qui a reçu depuis le titre de Tcheng Meng [2], est d'une haute importance. Tous deux prennent place au Sing-li après les écrits fondamentaux du maître, et le *Si-ming* même est hautement estimé en Chine où la morale prime toujours les spéculations théoriques.

Les œuvres principales de Shao-tze sont le *Hoang-Kih* ou « principe auguste, suprêmement honorable » et le *King-sse Kvan wuh* qui est, comme le disent les éditeurs du Sing-li tsing-y, l'exposé de la constitution de tous les êtres de ce monde. Il en sera question plus loin.

A ces premiers disciples du père de l'école moderne en succédèrent beau-

[1] Mémoires du Congrès orientaliste de Stockolm.

[2] (Livre) formant les intelligences non encore cultivées.

Digitized by Google

coup d'autres, tels que Liu-ta-lin, Yang-shi, Sie liang tzu, In-tun. L'introduction du Sing-li-tsing-y en énumère jusqu'à quarante, contemporains de la dynastie des Songs, et six de l'époque des Mongols, mais sans donner autre chose que leurs noms. Les plus célèbres sont, sans contredit, d'abord les deux frères *Tcheng,* dont le premier, *Tcheng-Hao* (1032 à 1085), joua un rôle politique important et s'occupa surtout des principes moraux; le second, *Tcheng-i* ou *Tcheng-i-tchuen,* qui se dévoua presque exclusivement aux études critiques et philosophiques, acquit une immense réputation et comme commentateur des Kings et comme penseur.

Vint enfin le célèbre *Tchou-hi* ou *Tchou-tze,* qui surpassa par son influence et ses travaux tous les lettrés de l'école et dont les commentaires critiques et explicatifs s'attachèrent presque à toutes les œuvres importantes de la littérature chinoise. Né en 1130 et mort en l'an 1200 [1], il occupa différents postes politiques importants, qu'il accepta pour pouvoir donner l'exemple de la pratique des vertus qu'il enseignait. Disgrâcié pour ses opinions philosophiques, il profita des loisirs que lui faisait la vie privée pour multiplier ses leçons et ses œuvres. Il mourut en laissant de nombreux disciples qui continuèrent son œuvre et finirent par la réhabiliter et avec elle, son auteur.

Tchou-hi s'attacha aux doctrines des frères Tcheng, mais ne fut point leur « pupil », comme dit Wylie, puisque Tchou-hi naquit quarante-cinq ans après la mort du plus jeune des deux philosophes.

Avec ceux-ci, le système de la nature subit un changement qui, s'il n'en transforma pas complètement l'essence, la modifia considérablement.

Tcheou-tze avait établi une sorte de monisme par son principe suprême, le *Tai-kih.* La nouvelle thèse rétablit le dualisme, mais d'une manière également nouvelle. Le *Tai-kih,* comme le *Tao* de Lao-tze, perdit son individualité pour ne plus constituer qu'une simple manière d'être d'un des deux principes fondamentaux et, à l'origine de l'être, furent posés comme tels le *khi,* ou substance, et le *li,* ou principe rationnel qui préside à la constitution des êtres et forme leur loi tant physique que morale.

[1] On trouvera de plus longs détails sur la vie et les travaux de Tchou-hi dans mes opuscules : *Tchou-tze tsie-yao, Kia-li,* etc.

Digitized by Google

Pour cette dernière période, il n'y avait plus de traité magistral qui s'imposât aux rédacteurs du manuel général de la philosophie chinoise. Par ordre de Kang-hi, ils prirent le parti très sage de puiser dans de longs écrits diffus et incomplets, chacun à part, tout ce qu'il y avait d'important, pour former eux-mêmes deux traités magistraux exposant complètement les théories reçues depuis le XI^e siècle. C'est ce qui nous a valu les deux derniers livres philosophiques du recueil impérial, le *Sing-ming* (nature et destin céleste) et le *Li-khi* (principe rationnel et substance), composés de fragments appartenant à différents auteurs, mais coordonnés méthodiquement. En cela les éditeurs ont parfaitement réussi à épargner à leurs lecteurs une dépense considérable de temps et de peine, et à leur faire acquérir, en peu de temps, des connaissances qui leur auraient autrement coûté des années de travail.

Nous ne croyons donc pouvoir mieux faire que de les imiter, en présentant au public européen les traités que les Chinois eux-mêmes ont considérés comme fondamentaux et suffisants, pour donner au monde une idée adéquate des travaux philosophiques et des doctrines de l'école du Sing-li.

Nous nous sommes abstenu de reproduire les commentaires de Tchou-hi relatifs au *Tai-kih-t'u* et au *Tong-shuh,* parce qu'ils ont été traduits par MM. von der Gabelentz et Grube et, de plus, parce qu'ils expliquent souvent ces traités d'une manière inexacte et introduisent dans les théories du fondateur de l'école des conceptions exclusivement propres à Tcheng-tze et à Tchou-hi.

La lecture de ces pages ne paraîtra pas, j'espère, privée de tout intérêt, car nous en avons pour garant le principe des rédacteurs du recueil :

« Pour composer cet ouvrage, on a rejeté l'écaille pour prendre le fruit caché par elle; on a évité tout ce qui était prolixe, surabondant et sans méthode; on a résumé les principes et pris ce qu'il y avait d'essentiel, afin que l'on pût avancer en connaissance comme sur les marches d'un large escalier. Tout y est l'œuvre des sages. »

L'histoire de la philosophie chinoise ne s'arrête pas à Tchou-hi, elle compte encore plus d'un penseur digne d'une mention spéciale. Mais ils n'ont point laissé de monuments que les Chinois eux-mêmes aient jugé de

Digitized by Google

nature à entrer dans le corps des œuvres capitales ou présentant de nouvelles conceptions. Nous ne nous y arrêterons pas, voulant, comme les doctes éditeurs du Sing-li, éviter les longueurs inutiles et les détails fastidieux.

Le *Sing-li-tsing-i* a eu plusieurs éditions, parmi lesquelles nous mentionnerons spécialement celle de Tao-kouang, an III ou 1824. Il a été traduit en mandchou dans les dernières années de Kang-hi. Mais textes divers et traduction diffèrent trop peu pour qu'il soit utile de mentionner les différences. La principale est dans la préface ajoutée par Tao-kouang, laquelle ne nous apprend rien de nouveau ou d'intéressant, et dans une introduction en mandchou. Celle-ci contient un sommaire, en deux pages, de l'histoire des idées philosophiques jusqu'à Tchou-hi, l'éloge de ce philosophe, devenu l'oracle de l'époque des Songs, la mention du *Sing-li ta-tchouen* et de ses défauts, l'exposé des mérites et de l'utilité du nouveau Sing-li, qui pourra former tous les étudiants de l'avenir, toutes choses que nous avons déjà vues. Il ne nous reste plus donc qu'à aborder les textes.

Nous commencerons naturellement par le fondateur de l'école, le philosophe Tcheou-tze.

Digitized by Google

L'ÉCOLE
PHILOSOPHIQUE MODERNE
DE LA CHINE

OU

SYSTÈME DE LA NATURE (*SING-LI*).

LIVRE I.

Système et écrits de Tcheou-tze.

PARTIE I.

Le Tai-kih-t'u ou Tableau du principe suprême.

A. — EXPOSÉ DU SYSTÈME.

Au sommet de l'échelle des êtres et à l'origine première de toutes choses est une cause, un principe qui, lui-même, n'a ni cause, ni principe : c'est le principe suprême, le Grand par excellence. Ce premier principe est donc le producteur de tous les êtres distincts de lui. Comment les a-t-il produits? Par deux principes secondaires, le *yang* (principe actif) et le *yin* (principe réceptif), qu'il engendre par ses mouvements. Son premier mouvement ou acte engendre le principe actif, mais ses mouvements n'ont qu'une virtualité restreinte qui s'épuise, après quoi il retourne au repos; ce premier repos produit le yin, ou principe réceptif. Mais ce premier mouvement et ce premier repos ne suffisent pas : les mouvements et les repos se succèdent, alternent et entretiennent, développent la substance du yang et du yin.

Digitized by Google

Le premier principe est un, le yin et le yang en proviennent sans le diviser, mais ils sont distincts et ont une existence et une action séparées. Le yang, essentiellement actif, tend à opérer des productions, des changements. Le yin, au contraire, tend à mettre en repos, à condenser, pour unifier et rendre immobile. Leur action combinée a produit les cinq espèces fondamentales d'êtres ou éléments, principes d'actions (*hing*), et en ceux-ci les cinq agents dynamiques ou atmosphériques [1] dont les opérations successives forment les quatre saisons et leur cours régulier.

Les agents dynamiques sont :	le froid	appartenant	à l'eau.
	le chaud	—	au feu
	l'humidité	—	à la terre.
	la fraicheur	—	au métal.
	la souplesse	—	au bois.

Les agents atmosphériques sont : le froid — de l'eau.
le chaud — du feu.
la pluie — du bois.
le vent — de la terre.
les rayons lumineux — du métal.

Après cet exposé, qui va du Tai-kih aux éléments, Tcheou-tze reprend la série des productions en suivant l'ordre inverse. Les cinq éléments proviennent du yang et du yin s'unissant, du yin et du yang de l'unique principe suprême, et celui-ci est le dernier terme, il n'a rien au-dessus de lui; il est un et unique, mais il produit la diversité, et ces êtres divers ont chacun leur nature propre.

Dans leurs opérations, ces divers principes se combinent et tiennent l'un à l'autre et entre eux, de façon qu'il y ait une continuité parfaite sans aucun intervalle et des combinaisons diverses.

Les principes-agents suprasensibles des deux principes secondaires, par leur action mutuelle et leurs relations, donnent l'existence aux êtres particuliers et à toutes leurs transformations. Une fois ces êtres produits, leurs transformations et formations nouvelles n'ont plus de fin.

[1] Proprement : les souffles, les esprits.

Digitized by Google

Ainsi se produisent tous les êtres et toutes leurs modifications. Tout cela provient, comme première source, de l'essence réelle du *Tai-kih*, c'est-à-dire du principe rationnel qui fait qu'il est ce qu'il est et ce qu'il doit être; c'est cette essence qui s'unit à celle des deux agents fondamentaux, le yang et le yin, et des cinq éléments.

Mais, dans les êtres, la nature est mâle ou femelle. Comment expliquer l'origine de cette différence? C'est très simple : la nature mâle provient directement du yang et la nature femelle du yin. Ici, ces agents opèrent individuellement et sans se combiner.

Note. — Le commencement de ce paragraphe peut être compris autrement que Tchou-hi l'a compris. Ce pourrait être aussi :

« L'essence vraie du Tai-kih est le principe suprasensible des deux agents et des cinq éléments. »

D'après Tchou-hi, le *tsīng* et le *khi* sont une seule et même chose. Il explique, du reste, ce passage d'une manière que le texte ne semble pas comporter :

« Le khi, se condensant, produit, devient l'être sensible, les formes; puis la forme, l'être sensible se prêtant à l'action du khi, les formes sensibles changent, subissent production et transformation, et hommes et choses sont engendrés.

» 6. Les êtres sont plus ou moins parfaits; ils possèdent plus ou moins des qualités de l'être sensible et de l'intellectuel. L'homme seul a atteint le point suprême. En l'homme, la partie sensible est formée d'abord, puis le principe intellectuel y produit la connaissance, l'intelligence.

» 7. Tous les hommes ne sont pas égaux en perfection; ils possèdent plus ou moins les qualités qui constituent leur nature. Le saint seul les possède toutes et, pour cela, il se rend conforme aux grands principes de la nature : le ciel et la terre, la lumière, les saisons; ainsi il assure son bonheur. L'homme vulgaire qui n'agit point de même est malheureux. »

D'après Tchou-hi, la forme sensible provient du yin et le principe intellectuel du yang; celui-ci est bon, et le yin, mauvais.

Les hommes ont tous en eux l'essence du premier principe, mais, dans

Digitized by Google

leurs actes, ils manquent à s'y tenir, à la maintenir en eux, et de là les fautes et les vices.

Le § 9 forme une sorte de récapitulation où sont cependant introduites quelques idées étrangères aux principes précédents, qui ne se rapportaient ni à la dualité du ciel et de la terre, ni à celle des principes forts et faibles; ces derniers sont le yang et le yin de la terre. Ces principes font comprendre la fin des choses comme leur commencement et, partant, la vie et la mort.

Tout cela est exposé dans le *Yih-king* et, par conséquent, ce livre est sublime, profond, immense et parfait (10).

La théorie du premier principe, telle que nous venons de l'exposer, a quelque chose de très élevé et l'on y trouve des conceptions qui se rapprochent grandement de la notion spiritualiste de la divinité. Elle en diffère toutefois d'une manière essentielle. Les philosophes chinois de l'École de la nature n'ont pas su établir entre l'esprit et la matière une différence radicale; il est bien vrai qu'ils les distinguent clairement et leur attribuent des caractères très différents, si pas même opposés. Mais ils les font sortir tous deux d'une seule source, d'une seule substance originaire.

Ce qu'est, en définitive, le Tai-kih, quelle est la nature de sa substance, c'est ce qu'ils n'ont point recherché. Ils ne semblent avoir jamais pensé à pénétrer l'essence de l'être par le raisonnement; c'est pour eux l'inaccessible, le *non* que l'esprit lui-même ne peut atteindre.

Logiquement, la théorie du Tai-kih les conduisait à l'inexorable fatalité, mais les traditions antiques leur rappelaient sans cesse à l'esprit le Shang-ti, le T'ien, leur volonté, leur décret constituant le destin *ming*, et, comme leur intention n'était pas de faire table rase du passé, ou qu'ils n'osaient point en venir jusque-là, ils conservèrent ces notions traditionnelles et les accommodèrent tant bien que mal au nouveau système. De là viennent les incohérences qui s'y produisirent nécessairement.

Digitized by Google

Digitized by Google

TAI-KIH-T'U.

TABLEAU DU PRINCIPE SUPRÊME.

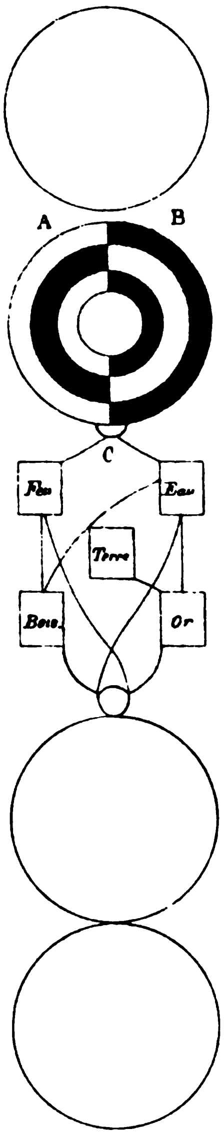
I. — *Tai-kih.* Principe suprême.

II. — *Yang* (blanc). Principe actif. — *Yin* (noir). Principe réceptif.

III. — Les éléments.

Khien. Principe mâle. — *Kuen.* Principe femelle.

化生 — Production et mouvements divers des êtres par engendrement et modification.



Mém. de Mgr de Harlez, t. XLIX, p. 49.

Digitized by Google

Le texte proprement dit du *Tai-Kih-tu* est précédé du tableau qu'indique son titre et qui figure l'ordre des principes successifs dont l'action est expliquée dans le traité. Ce tableau est accompagné d'une longue légende qui en explique toutes les parties. Nous la donnons en entier, parce qu'elle n'a point encore été traduite et qu'elle rend parfaitement compte des idées du philosophe novateur. Ce tableau, suspendu au mur de son école, était destiné à servir de base à son enseignement et, comme nous dirions aujourd'hui, à une leçon intuitive. (Voir le tableau ci-contre.)

Le cercle I désigne le premier principe sans principe, celui dont le mouvement est la substance fondamentale, originaire du yang et dont le repos est celle du yin. On ne doit donc pas en détacher le yin et le yang, et, comme ces deux principes seconds désignent sa substance fondamentale, on ne peut en parler comme séparée de ces deux principes.

Les cercles concentriques II désignent par le mouvement, le yang; par le repos, le yin. Le cercle du milieu en est la base substantielle.

Les demi-cercles de gauche montrent le mouvement du yang, les circonférences indiquent son action, sa marche.

Les demi-cercles de droite montrent l'immobilité du yin, et la circonférence médiale indique la subsistance qui fait sa substance.

Les demi-cercles de droite sont la racine de ceux de gauche et vice-versa.

La figure III représente le yang opérant les changements, et le yin, la condensation, et produisant ainsi les cinq éléments.

Les premiers sont indiqués par la ligne et la seconde, par la ligne

L'eau est du yin pur, c'est pourquoi elle est à droite. Le feu est du yang pur, c'est pourquoi il est à gauche.

Le bois est une altération du yang, c'est pourquoi il est sous le feu.

Le métal est une modification du yin, c'est pourquoi il est sous l'eau. La terre est du khi soulevé, c'est pourquoi elle est au milieu.

Les lignes de l'eau et du feu se croisent en haut (*c*).

Le yin a sa racine dans le yang et le yang dans le yin.

L'eau allant vers le bois, le bois vers le feu, le feu vers la terre, la terre vers le métal, le métal vers l'eau forment un cercle sans fin.

Digitized by Google

Ainsi les cinq agents dynamiques se répandent et les quatre saisons suivent leur cours.

Les cinq éléments sont en somme le yin et le yang unis. Le yin et le yang sont le seul principe suprême, ils forment la substance la plus grossière et la plus subtile, la racine et l'extrémité, et il n'y a pas autre chose. La racine du principe suprême est dans l'absence de principe. Les actes du ciel sont sans bruit ni odeur. Chaque élément naissant a sa nature particulière; la substance générale se différencie dans leurs éléments constitutifs. Chacun a ses propriétés à soi.

Les trois premières figures se touchant, montrent qu'entre le Tai-kih, les deux principes producteurs et les cinq éléments, il n'y a aucun interstice, qu'ils se touchent d'une manière invisible et merveilleuse. Le *k'ien* est mâle, le *kven* est femelle; cela désigne les opérations du *khi*. Chacun a sa nature, et la nature mâle et femelle se résume dans le seul Tai-kih.

Quand on parle de la naissance et de la formation des êtres, cela désigne leur substance visible qui se forme. Chacun a sa nature particulière, et tous les êtres se résument dans le seul Tai-kih. L'homme seul est à leur tête, souverainement intelligent, et pour cela on l'appelle homme.

Les cercles du tableau s'appliquent à tout cela. Ainsi la forme est l'être, l'action de)) II B; l'esprit, la manifestation de (((II A. Les cinq natures sont les vertus de III (les cinq éléments). Le bien et le mal sont les caractères distinctifs des natures mâle et femelle.

Tous les actes sont les manifestations des êtres divers. Tous ces mouvements d'ici-bas sont la cause des unions, relations, confusions, d'où naissent et sortent le bien et le mal. Le saint seul sait atteindre la pureté et l'unité parfaite qui fait la supériorité de l'homme et sait aussi arriver à sa nature complète et parfaite.

Les cercles désignent les actes des substances; par là il y a tantôt mouvement et tantôt repos; chacun ainsi atteint son point suprême; ainsi mise en mouvement, la cause productrice de ce monde parvient au repos, et au sein de ce calme elle tient le milieu, elle est essentiellement bonne; c'est ce que désigne II A.

Les cercles ○ désignent aussi l'acte, la faculté d'agir, la droiture, la

Digitized by Google

justice, le repos; ce qu'indique)) II B. Ils désignent la substance, ce qui fait être et subsister. Le milieu, la fermeté, la bonté, la justice suivent leur cours, complètent la substance des êtres, et le repos est perpétuellement la chose essentielle.

Des trois figures I, II, III, le ciel et la terre, le soleil et la lune, les saisons et les esprits n'ont rien qui puisse s'en éloigner (et soit en dehors; tout y est). Les lois du ciel, de la terre et de l'homme ont chacune leur cercle d'action. Le yang, force et bonté, est ce que désigne (((II A. Le yin, douceur et droiture, est ce que désigne)) II B. Le premier est le commencement, et le second, la fin des êtres. C'est ce que désigne le Yih et ce par quoi les trois principes (ciel, terre et homme) subsistent. Leur réalité est une, c'est pourquoi ce Yih (qui les comprend tous trois) est dit le tai-kih et les deux principes.

B. — TAI-KIH-T'U.

(Texte traduit.)

1. Le principe suprême est tel parce qu'il n'a pas de principe.

2. Le principe suprême se remuant, se mettant à agir, engendra le *yang*. Au terme suprême de son mouvement, il entre en repos et par là il engendre le *yin*. Au terme suprême du repos, il reprend le mouvement. Ainsi un mouvement et un repos se succèdent. L'unité (originaire) forme sa racine. Le yin et le yang étant séparés, les deux principes secondaires ont leur existence déterminée.

3. Le yang produit les changements; le yin produit les rapprochements, et ainsi ils engendrent l'eau, le feu, le bois, l'or et la terre. Les cinq agents dynamiques se répandent, les quatre saisons suivent leur cours.

4. Les cinq éléments sont le yin et yang unis; le yin et le yang sont l'unique *Tai-kih*. Le principe suprême est originairement sans principe; c'est le producteur des cinq éléments, et chacun d'eux a sa nature propre.

5. La vraie essence du (principe) sans principe et le principe-agent (tsing) des deux formes fondamentales et des cinq éléments, s'unissant par fusion et condensation supra-sensibles, l'action du k'ien produit l'être mâle, celle

Digitized by Google

du kven produit l'être femelle. Les deux agents dynamiques (*khi*) se recontrant et s'excitant mutuellement forment et font naître tous les êtres. Tous les êtres produits de cette manière changent et prennent de (nouvelles) formes sans jamais cesser.

6. L'homme seul atteint la perfection de l'être et le summum de l'intelligence. Son être sensible se produit, et alors l'esprit produit la connaissance. Les cinq dispositions naturelles excitées alors se mettent en mouvement, le bien et le mal se distinguent, les mille opérations se produisent au dehors.

7. (Parmi les hommes) le saint (est le seul qui) affermit sa nature en gardant le milieu, la droiture, la bonté et la justice, mais il met au-dessus de tout le repos, le calme intérieur [1], et établit en soi fermement la perfection (*kih*) de l'homme. Aussi rend-il sa vertu égale à celle du ciel et de la terre, son éclat à celui du soleil et de la lune, l'ordre de ses actes et dispositions à celui des quatre saisons, son bonheur et son malheur [2] à ceux des esprits.

8. L'homme supérieur suivant cet ordre est heureux; l'homme vulgaire y résistant est malheureux.

9. C'est pourquoi il est dit : si l'on veut déterminer la loi du ciel, on parle du yin et du yang; si c'est celle de la terre, on parle du principe faible et du fort; si c'est celle de l'homme, on parle de la bonté et de la justice. Et encore : si l'on creuse l'origine et que l'on sache pénétrer la fin (des choses), on connaitra le mode de la vie et de la mort.

10. Grand vraiment est le Yih-king; il atteint le point extrême.

[1] L'absence de passion, de désir.
[2] Doublet consacré qui indique ici le bonheur seul.

Digitized by Google

PARTIE II.

Le Tong shuh ou Traité approfondi.

A. — RÉSUMÉ DES PRINCIPES.

Le *Tai-kih-t'u* avait posé les premiers principes de l'ontologie. L'auteur veut maintenant approfondir son sujet, entrer dans les détails et éclaircir les notions essentielles qui forment son système philosophique. Il embrasse ici à la fois et sans distinction l'ontologie et la morale, parce qu'à ses yeux les règles morales ne sont que les moyens de déterminer la vraie nature et de la restaurer là où elle est altérée. Cela fait donc partie de l'ontologie.

Voici, en résumé, l'ensemble de ce nouvel ouvrage :

L'auteur commence par poser le fondement de la nature universelle, la réalité, la vérité, cette qualité des êtres qui fait qu'ils sont ce qu'ils doivent être, sans erreur ni vice. Cette réalité découle en eux du principe actif qui donne à chacun sa nature et son destin propres.

Cette réalité, comme il a été dit, est identique à la sainteté dans l'être libre, et cette sainteté est la perfection de la nature morale qui est dans l'homme naturellement et sans qu'il fasse aucun effort pour l'acquérir.

Puis il explique la loi des êtres dont le mode est la bonté et qui produit la nature.

L'auteur se réfère ici, comme précédemment, au *Yih-King* et spécialement au premier chapitre qui explique le principe actif dans ses quatre modes d'action (§ 6).

Il explique en outre comment la réalité, en tant que sainteté, est la source des vertus.

Au chapitre suivant, après avoir caractérisé la réalité, la tendance et les vertus, il définit le spirituel et cette autre partie de la nature qui n'est plus elle-même, mais la porte au dehors, vers d'autres êtres, la tendance.

Il n'est pas besoin de dire que ces définitions ne sont ni précises, ni bien profondes; elles touchent, le plus souvent, les choses par leur côté accessoire.

Digitized by Google

En ce qui suit, Tcheou-tze traite, de la même façon, de la nature et des qualités des actes, de leur règle, de celui qui doit enseigner et diriger les autres, ainsi que des qualités requises, de la sévérité et de la douceur, du vrai bonheur; puis de la pensée en elle-même et dans le saint.

Tout le reste est principe de morale, à part deux sentences aux chapitres XI et XVI où nous apprenons que le ciel engendre tout par le yang et achève par le yin (XI); que l'un des deux principes, en produisant une chose, a l'autre principe comme fondement de son acte (XVI); enfin que les êtres matériels se distinguent des spirituels en ce que ces derniers ont à la fois repos et action, agissent sans mouvement et se meuvent sans perdre le repos, et de plus pénètrent toutes choses, tandis que les êtres matériels sont ou en mouvement pur ou en repos pur, et ne concilient point en eux ces deux opposés, qu'en outre ils sont imperméables.

La sentence du chapitre XI est assez inattendue; nulle part ailleurs Tcheou-tze ne parle du ciel et de son action [1]. Il en est de même du principe énoncé au § 2, ch. I : « toute réalité vient du *K'ien.* »

Un passage également remarquable est celui où il est parlé de la musique. On y retrouve toutes les idées des anciens Chinois sur l'action physique et morale des sons musicaux.

Ces notions ontologiques peuvent se résumer de cette manière :

Le premier principe (ici « le ciel ») produit le yang et le yin ; par le yang (actif) il engendre, produit les êtres ; par le yin (réceptif, substance immobile) il les complète. Certains êtres ont plus du yang, d'autres ont plus du yin (ex., l'eau). En ces cas, l'agent principal prend l'autre comme fondement de sa production. Tous les êtres se produisent d'après la loi de succession d'un yin suivant un yang ; cette loi a pour règle la bonté, sa mise en acte produit la nature qui est le résultat de son opération.

La qualité essentielle des êtres est la vérité, la nature vraie conforme au principe rationnel, sans vice ni erreur ; elle provient du principe actif et elle constitue la nature et le destin propres de chaque être. Dans l'homme,

[1] Cela est même entièrement opposé à ses principes fondamentaux. On croirait volontiers à une interpolation ou à une altération du texte. Nous devrions avoir *Tai-Kih* au lieu de *Tien*.

Digitized by Google

cette nature vraie est la sainteté, base et source des vertus. Celui qui possède la sainteté l'a par nature et sans effort. L'homme qui veut être bon peut acquérir, par l'instruction et les efforts, une nature proche de la sainteté.

Mais en l'être il n'y a pas que substance, il y a aussi tendance.

La tendance est le mouvement au sein de l'essence, ou plutôt le commencement de mouvement caché dans l'essence et ne s'apercevant pas.

En outre, il faut distinguer dans les êtres la substance sensible et le spirituel, l'intelligence (v. III, 5, 7) et, parmi les actes, la pensée (IX). Ces notions sont définies ou plutôt caractérisées dans des chapitres spéciaux; il serait inutile de les répétér ici.

Il en est de même des principes de morale, qu'il serait superflu de systématiser et que l'on comprendra suffisamment en lisant le traité lui-même.

B. — TONG-SHUH.

(Texte traduit.)

Chapitres I et II. — *Le réel* ([1]).

1. Le vrai (la réalité parfaite sans erreur) est le principe fondamental de la sainteté[2].

2. Le fondement de la vérité, sa source, est dans le principe du *k'iēn*[3] d'où proviennent toutes choses.

3. Cette réalité vraie est constituée par les productions du principe actif (*k'iēn*), conformes à son essence (principe), qui donne à chaque être sa nature propre et sa part de biens et de maux, son destin[4].

4. La bonté parfaite consiste dans la simplicité et la pureté (l'absence de tout mélange de faute ou de vice).

[1] La vérité, la réalité, est la réalisation du principe rationnel abstrait, la conformité de l'être avec ce principe, l'absence d'erreur ou de vice.

[2] Du saint. La nature du saint réalise en lui la plus haute et la plus parfaite vérité. Conforme au principe, elle ne s'en écarte par aucune erreur.

[3] Le premier objet du Yih-king, le principe actif. (Voir T. K., p. 16.) Ce principe, d'après Tchoū-hi, est la vérité intellectuelle, le principe intellectuel pur.

[4] Les §§ 2 et 3 sont tirés du Yih-king.

Digitized by Google

5. La loi des êtres est : le yin succédant au yang (un yang, un yin); sa mise en action est la bonté; son accomplissement est la nature [1] (elle agit selon la bonté; accomplie, elle produit la nature). (La bonté, proprement la bienveillance pour l'homme, a ici le sens de bienveillance en général.)

6. Le commencement et le développement sont l'extension, la pénétration du réel; l'adaptation et l'achèvement en sont la restauration [2], le complément.

7. Grand est le Yih-king! c'est la source de la nature et du destin.

8. La sainteté est la vérité, la réalité et rien de plus (c'est la nature vraie, le principe rationnel pur et sans mélange d'erreur ni de vice).

9. La vérité est le fondement des cinq vertus cardinales (bonté, justice, convenance, sagesse et droiture), la source d'où doivent provenir tous les actes.

10. La réalité (le principe suprême et rationnel) quand elle est sans action est imperceptible [3]; agissante, elle est saisissable.

Parfaitement conforme au principe de rectitude, elle est d'une clarté évidente à tous.

Sans elle les cinq vertus et toutes les actions sont perverties, obscurcies, incomplètes, elles sont (comme) inexistantes.

[1] Le mode d'action de cette loi est la bonté, le bien; quand elle s'accomplit, ce qu'elle produit, c'est la nature; la nature est la loi réalisée dans les êtres. Cette loi est le principe rationnel *li*, selon Tchou-hi. La nature est la réalisation du *li* et celle-ci appartient au *Yin*. Le bien est l'opération du *li*, même avant sa réalisation. La mise en action du *li* est le développement (la sortie) du khi, de la substance réalisée. Le tout, d'après Tchou-hi, qui ajoute : Le yin et le yang constituent le *khi*, ils sont la partie inférieure de l'être réalisé; le *li* en est la partie supérieure.

[2] Toute chose, tout acte a quatre principes : 1. Commencement; 2. Développement ou pénétration (comme l'eau sortant de la source pénètre dans le milieu ambiant); 3. Adaptation à ce que lui convient et de ce qui lui convient; 4. Constitution définitive, achèvement, constitution conforme au principe rationnel. Ce sont les quatre facultés du k'ien, d'après la 1re section du Yih-king

Complément. Indique cette réalité que chacun possède en soi, invisible et qui est le perfectionnement de la nature. Le mot chinois implique l'idée de restauration, retour; c'est la substance sortie de sa source qui rentre en elle-même pour se compléter dans l'être particulier.

[3] Littéralement : « non existante » et « existante »; mais ces mots ont chez les philosophes chinois le sens qui leur est donné ici. Ce qui est inaccessible à nos moyens de perception est dit *wuh*, non existant.

Digitized by Google

Aussi la vérité exclut tout travail [1]. Très facile à opérer (par soi-même), elle devient difficile à réaliser (par suite de la perversité humaine). Mais si l'on est courageux et ferme, on n'aura pas de difficulté. Si l'on savait un seul jour se dominer soi-même et observer parfaitement les règles de la convenance, le monde retournerait au bien, à la vertu de bonté (par l'effet de l'exemple) [2]. La vérité est sans effort (elle agit d'elle-même) [3].

Chapitres III et IV. — *Des trois principes d'action : réalité, tendance, vertu.*

1. La réalité vraie est sans effort (*non laborat*).

La tendance est bonne ou mauvaise.

2. Quant à la vertu, aux cinq vertus cardinales : la bonté, c'est l'affection; la justice, c'est la convenance; le rite est la règle de raison; la sagesse est la faculté de pénétrer et comprendre; la droiture est la conservation de la fidélité.

3. La sainteté c'est ce qui est conforme à la nature et en parfait repos (elle ne s'apprend pas, ne s'obtient pas par des efforts; elle est ou n'est pas).

4. La sagesse c'est la restauration (de la nature vertueuse) et la fermeté à conserver (cette restauration). — (Le sage est celui qui devient vertueux par l'instruction et l'exercice des vertus.)

5. Le spirituel est ce qui se manifeste tout en étant caché, invisible, qui remplit tout et se trouve partout, inépuisable.

6. La tendance se produit ainsi. L'essence vraie [4] est sans mouvement; quand elle se meut, ce qui en sort et pénètre au dehors c'est l'intellectuel; ce qui existe alors et se meut avant que le mouvement ait produit une forme sensible et comme existant au sein de ce qui n'existe pas encore (de ce qui ne se manifeste pas), c'est la tendance, l'*affectus*.

[1] Là où est la réalité parfaite, là le principe rationnel agit spontanément, tout se fait sans effort.

[2] Ceci est le principe cher à Kong-tzē. (Voir Lun-Yu, XII, 1.)

[3] Voir plus haut.

[4] Le principe rationnel considéré en son essence et non comme simple règle abstraite. Son action tendant aux adaptations est insaisissable.

Digitized by Google

7. Cette réalité est infiniment pure, subtile, et partant claire, évidente. L'intelligence est justement proportionnée [1], partant elle est merveilleuse; l'appétit est caché, partant obscur (ne se montrant point tel qu'il est).

Vérité, intelligence, tendance (bonne) [2], c'est (ce qui constitue) le saint.

Chapitre V. — *Des actes.*

En se mouvant conserver la rectitude, c'est la loi de raison.

En agissant conserver la concorde [3], c'est la vertu.

Sans les cinq vertus il n'y a que perversité.

La méchanceté dans l'action (produit) la honte; l'excès (engendre) les malheurs. Aussi les hommes supérieurs et sages sont très prudents et fermes dans leurs mouvements et leurs actes.

Chapitre VI. — *De la règle des actes* (Tao).

La règle des saints consiste uniquement dans la bonté, la justice, le juste milieu et la rectitude. La garder, c'est un honneur; la pratiquer, un avantage; la faire régner, c'est se rendre semblable au ciel et à la terre. Elle est facile et bien réglée; la connaître, la suivre n'est pas difficile. Sans la garder et la pratiquer on ne peut la propager.

Chapitre VII. — *Le maître.*

Ce qu'il y a de principal en ce monde c'est le maître, car la nature tient le milieu entre l'indulgence et la rigueur, bonne ou mauvaise (et le maître apprend cela).

La rigueur, quand elle est bonne, est justice, droiture, fermeté; mauvaise, elle est dureté, orgueil, cruauté, etc.

1 Tient le milieu entre les deux autres.
2 Le saint a tout cela dans sa perfection, par nature.
3 La paix, l'harmonie des facultés et avec les autres hommes.

Digitized by Google

La douceur, bonne et vraie, engendre la bienveillance, la soumission, etc. Mauvaise, elle produit la faiblesse, l'irrésolution, la fausseté.

Le milieu seul harmonise, garde la mesure, c'est la loi qui pénètre le monde entier et le mode d'action des saints.

Aussi le saint établit la vraie doctrine et fait ainsi que les hommes corrigent leurs vices, parviennent d'eux-mêmes au milieu et s'y tiennent.

Le maître, éclairé le premier, doit éclairer ceux qui ne le sont pas encore. Ceux qui ont encore l'esprit obscur doivent recourir à ceux qui sont déjà éclairés; ainsi s'établit la loi de l'enseignement. Quand celle-ci règne, la cour suit la justice et l'empire est bien gouverné.

Chapitre VIII. — *Du bonheur.*

L'homme né disgracié (du ciel) n'apprend point ses défauts. S'il est sans honte, sa disgrâce est complète. (C'est là le malheur suprême car on ne peut se corriger.) Si l'on est averti de ses défauts on peut se corriger et devenir sage. C'est le plus grand bonheur.

Chapitre IX. — *De la pensée.*

Penser c'est approfondir. Réfléchir profondément fait la sainteté. L'absence de pensée est à la racine de l'intelligence. (On commence par l'absence d'acte intellectuel.) Approfondir par la pensée c'est l'acte de l'intelligence, son usage. (L'esprit sortant du non-penser, agit et réfléchit comme le premier principe sortant du repos, produit le yang). L'appétition se produit dans le premier, la réalisation dans le second.

Tout pénétrer sans réfléchir expressément fait le saint.

Tout pénétrer vient de ce qu'on approfondit les choses obscures, et ceci provient de la réflexion; sans la réflexion c'est impossible; sans approfondir on ne peut tout pénétrer. C'est pourquoi la réflexion est la base des efforts du saint, la cause du bonheur.

Celui qui connaît les choses invisibles, c'est l'esprit.

Digitized by Google

Chapitre X. — *Disposition et instruction.*

Le saint imite le ciel, le sage imite le saint, le lettré imite le sage. Le saint dépasse tout le monde, le sage approche de la perfection. Si même on n'en approche pas de près on n'est point pour cela déshonoré.

Chapitre XI. — *Des formations selon la nature de l'être.*

Le ciel engendre toutes choses par le yang, et les parfait par le yin. Engendrer est (œuvre de) bonté; parfaire est (œuvre de) raison, de rectitude. La bonté et la rectitude appartiennent au principe rationnel (*Tao*), le yin et le yang à la substance, *khi* (*Tchou-hi*).

Le saint, placé au-dessus de tout, entretient tout par sa bonté et dirige par la rectitude.

Tout ce qui est au monde a son fondement dans l'homme. La loi du monde n'est donc ni loin ni compliquée (car tout se résume en l'homme).

Chapitre XII. — *Du gouvernement.*

La règle souveraine est : purifiez votre cœur; cela suffit.

Purifier son cœur c'est suivre, en tous ses actes, les principes de la bonté, de la justice, de la convenance et de la sagesse.

Si le prince a le cœur pur, les gens sages et capables l'assisteront et, en ce cas, le royaume sera bien gouverné.

Chapitre XIII. — *Des rites et de la musique.*

Les rites sont de la loi rationnelle; la musique, c'est l'harmonie. Quand le yin et le yang suivent la loi rationnelle, l'harmonie la suit; chacun est à sa place et remplit son devoir. C'est après que les choses ont leur loi qu'elles sont harmonisées. Ainsi la loi est la première, la musique vient après.

Digitized by Google

Chapitre XIV. — *Du souci de la vérité.*

Quand la vérité règne, c'est le bien; quand c'est le nom (et l'apparence), c'est la honte. C'est pourquoi l'homme supérieur s'efforce d'atteindre la vérité et de s'y attacher, de faire son devoir. L'homme vulgaire se contente de l'apparence fallacieuse.

Chapitre XV. — *Affection et respect.*

Si l'on voit faire du bien et qu'on ne sache pas le pratiquer soi-même, qu'on l'apprenne. Si l'on voit faire quelque mal, qu'on avertisse, espérant toujours réussir à corriger. — Les sages sont toujours pleins de respect et d'affection.

Chapitre XVI. — *Du mouvement.*

Les objets perceptibles sont en mouvement et non en repos, ou bien en repos et sans mouvement; les êtres intellectuels seuls sont à la fois en mouvement et immobiles, en repos et sans repos (leur mouvement n'est pas un mouvement de lieu en lieu; leur repos n'est pas l'inactivité absolue, mais seulement l'inactivité matérielle); ils ne sont ni immobiles ni privés de repos; en leur repos il y a mouvement; leur mouvement s'accomplit dans le repos. Les objets visibles sont entre eux impénétrables; l'être intellectuel spiritualise tous les êtres.

L'eau est yin et a pour racine le yang. Le feu est yang et a pour racine le yin.

Les cinq éléments sont yin et yang; le yin et le yang sont le Tai-kih [1].

Les saisons accomplissent leurs révolutions perpétuelles; ainsi les êtres commencent et finissent. Que cela est incompréhensible (en soi)! Combien cela est clair et évident (dans ses manifestations)! Cela n'a point de terme.

[1] Le yin et le yang devant coopérer à toute formation, l'un des deux principes agissants doit prendre l'autre pour base, matière ou racine. Ceci est une répétition du § 4 du Tai-kih-t'u.

Digitized by Google

Chapitres XVII a XIX. — *De la musique.*

Les anciens rois faisaient régner la vertu; le peuple vivait dans l'union et la concorde; l'harmonie régnait partout.

C'est qu'en faisant de la musique, en répandant le son des huit souffles, ils calmaient les passions du monde. Les accents de la musique étaient simples et ne portaient pas au mal; ils touchaient le cœur et arrêtaient les désirs. Alors toutes les vertus régnaient sans partage.

Plus tard, le gouvernement devint cruel et tyrannique; les chefs, adonnés à leurs passions, voulurent une nouvelle musique qui correspondît à leurs mauvais penchants. Aussi, hélas! la musique de nos jours ne fait plus que pervertir.

Vouloir revenir à un gouvernement parfait et ne point restaurer les rites, ne point changer la musique actuelle, c'est se tenir bien loin de son but. La musique simple peut seule calmer les cœurs; si les paroles sont honnêtes, les chanteurs désirent le bien. Ainsi les coutumes changeant, les mœurs seront bien réglées. Ainsi se corrigeront les sons lascifs, séducteurs et les paroles mauvaises [1].

Chapitre XX. — *Enseignement de la sainteté.*

La sainteté peut s'apprendre, et tout l'enseignement se résume en un mot : l'absence de passion, de désir. Là où il n'y a pas de désir, le cœur est vide et en repos, les actes en sont honnêtes et justes et, dans ce cas, la clarté y règne et le pénètre, la droiture et l'égalité y dominent. Alors on est près de la perfection.

[1] De ce chapitre comme de plusieurs autres passages nous avons retranché des répétitions et des longueurs superflues.

Digitized by Google

LIVRE II.

Système et écrits de Tchang-tze.

INTRODUCTION.

Comme on l'a vu plus haut (page 11), le Tcheng-meng et le Ssi-ming forment les deux œuvres capitales de Tchang-tze. Dans le premier, il pose et développe ses principes de philosophie théorique et pratique; dans le second, que nous laissons ici de côté, il établit le devoir d'aimer tous les hommes.

Tchang-tze accentuait encore les innovations philosophiques du Père de l'école nouvelle, et tout en le suivant il conserva son originalité. Il est cité dans les livres chinois comme un modèle d'ardeur à propager l'enseignement de ce qu'il croyait être la vérité et à instruire les étudiants d'une intelligence même bornée.

Le Tcheng-meng jouit d'une si grande autorité que Tcheng-y-tchouen le proclamait égal au livre de Meng-tze.

Mais ses hardiesses, si éloignées de l'esprit conservateur et quelque peu étroit de l'école de Kong-tze, devaient nécessairement exciter les appréhensions des lettrés restés fidèles au grand philosophe. Des critiques très vives s'élevaient de toutes parts et Tcheng-tze lui-même reconnut dans la préface de son commentaire que Tchang-tze passait les bornes (*kuoh*); on appelait son livre : un king à rebours. Mais on l'attaquait sans publier son texte, ce qui détermina Tchou-hi à le mettre au jour en l'accompagnant de commentaires. On sait que le zélé disciple tomba lui-même en disgrâce et que ce fut seulement après sa mort que les œuvres de son maître triomphèrent avec les siennes. Plus tard les lettrés impériaux des Ming comme ceux des Ta-ts'ing n'hésitèrent pas à lui donner place dans la *Standard Edition* des chefs-d'œuvre philosophiques de l'école des Songs. Toutefois le Ssi-ming,

Digitized by Google

dans sa brièveté, resta toujours plus en renom. Déjà dans l'école de Tcheng-tze on n'enseignait que ce livre.

Le système de Tchang-tze est tracé sur le même plan que celui de Tcheou-tun-y; mais il en diffère notablement quant aux détails.

Pour Tchang-tze l'être primitif n'est point le Tai-kih, mais ce qu'il appelle le *Ta-hu*, l'être immense, indéterminé (vide) et sans forme : sa nature est dans ses diverses évolutions, qui se produisent selon la loi de l'harmonie universelle, loi suprême de l'être. De cette nature sort le principe vital, engendrant, universel, qui se manifeste d'abord par l'être actif, intelligent, le *khien*, et par le *kven*, principe réceptif, agissant par réaction, etc., c'est-à-dire par deux puissances identiques au yang et au yin de Tcheou-tze. (Voir chap. I, 2 et 1.)

L'être absolu est par lui-même en repos; il entre en mouvement quand les êtres particuliers s'approprient une part de sa substance par leur action physique ou morale.

En lui il y a esprit et être sensible doué de forme (*shen* et *khi*). Le premier est ce qui est essentiellement pur, impénétrable, sans forme; le second est ce qui prend des formes particulières et subit des modifications. Toutefois ce ne sont point deux essences séparées, inconciliables, mais deux manières d'être du grand tout, et l'une n'existe pas sans l'autre. Dans la substance de l'être visible, bien qu'il soit sujet aux mouvements et aux modifications, il y a pourtant un principe rationnel (*li*) qui constitue chacun tel qu'il doit être et maintient sa nature intacte et sans erreur.

C'est par la condensation du khi que les êtres visibles se produisent et alors apparaît le *li* ou loi rationnelle, immanente à la substance et qui se manifeste par la production des êtres.

C'est aussi la condensation du khi qui rend les êtres lumineux, visibles, doués d'éclat; par lui *fit lux*. C'est cette condensation qui produit le *li*, la lumière.

Dans cette philosophie le *khi* n'est point la matière originaire, *Urmaterie*, et le *li* l'intelligence originaire, *Urgeist*, comme on l'a dit. Le *khi* est la substance universelle; à l'origine, cette substance est dans l'état du grand Vide, indéterminé, sans forme, où tout est confondu. Mais cette substance a un

Digitized by Google

mouvement inné qui en fait sortir d'un côté la partie pure, mystérieuse, qui est l'intelligence, et de l'autre, la partie susceptible de forme qui, en en revêtant une, devient être visible, doué de forme, matière. En tous deux et en toutes leurs parties est immanent un principe rationnel *li*, qui leur donne leur nature et la règle en tout et partout. Du reste il ne faut pas chercher une concordance parfaite entre toutes les parties de ce système, non plus qu'une argumentation sérieuse pour la soutenir.

Tchang-tze polémise parfois contre les Bouddhistes et Lao-tze; alors seulement il use d'arguments, mais ses raisonnements ne sont rien moins que serrés et concluants; la dialectique n'a jamais été très cultivée en Chine; elle y attend encore son Aristote.

Voilà les fondements de la doctrine de Tchang-tze; elle forme la transition entre celles de Tcheou-tze et de Tchou-hi ou de Tcheng-tze; car Tchou-hi n'a guère fait autre chose que développer les enseignements de son maitre.

Remarquons toutefois encore que Tchang-tze confond, comme cela est de tradition en Chine, l'ordre physique avec l'ordre moral et attribue, par exemple, aux vertus une action physique que nous ne leur reconnaissons pas.

Notre philosophe a encore laissé un autre ouvrage dont il est parlé dans un commentaire, le *Ting sheng* (la nature réelle [1]); mais il n'est point connu en Europe et son texte repose dans les oubliettes des bibliothèques chinoises.

[1] Ou « ce qui constitue régulièrement la nature. »

Digitized by Google

LE TCHENG-MENG.

Partie I. — Ontologie.

Chapitre I. — *De la grande Harmonie*, Ta ho.

1. La grande Harmonie universelle est la loi des êtres [1]. Sa nature intime est de se condenser, s'élever, s'abaisser, monter, descendre, se mouvoir, entrer en repos par un mouvement intérieur et une action motrice réciproque qui fait agir ainsi ses éléments. Cette nature est la source du principe vital universel, qui, par ses mouvements alternatifs, intimes, dominant ou cédant, avançant ou reculant, cédant ou s'étendant, forme toutes choses [2].

Son apparition [3] est mystérieuse, profonde, d'une subtilité extrême et parfaitement régulière. Son extension, son développement, son achèvement est immense, puissant, d'une fermeté parfaite.

Ce qui commence, avec connaissance, la succession des mouvements et changements, c'est le *k'ien* [4]. Ce qui agit en suivant l'impulsion donnée et le modèle de la règle absolue, c'est le *kven* [5].

Tout ce qui, se dispersant et se diversifiant, prend une forme particulière, est le *khi* [6].

Tout ce qui est essentiellement pur, subtil, profond, impénétrable et sans forme, est le *shen* [7].

1 Le *Tao*, la loi rationnelle.

2 Le principe qui engendre tout, semblable à un éther chaud, fécondateur, provient de cette nature de l'être qui lui fait faire ces diverses évolutions.

3 Sa venue; là où il commence à se manifester, à agir.

4 Le principe actif, spontané; principe du ciel. Ici Tchang-tze emploie les termes du Yih-king et non yang et yin comme l'avait fait Tcheou-tze.

5 Principe réceptif, réactif.

6 La substance active universelle.

7 La substance intellectuelle.

N. B. — Tout en traduisant exactement le texte nous devons bien le développer parfois pour conserver aux termes chinois toute leur compréhension.

Digitized by Google

Tout ce qui, comme la poussière ou les atomes, ne peut se combiner, n'est point de la grande Harmonie universelle.

Si ceux qui parlent du Tao [1] connaissent ces choses, on peut dire qu'ils le comprennent. — Si ceux qui étudient le Yih-king savent bien tout cela, on peut dire qu'ils comprennent ce livre. S'ils l'ignorent, en ce cas, eussent-ils toutes les capacités et vertus de Tcheou-kong [2], leur sagesse ne mérite pas ce nom.

2. L'être immense, vide et sans forme [3] extérieure, est la substance fondamentale du khi [4]; ses concentrations et ses dispersions, en changeant et évoluant, engendrent des formes passagères [5].

Immobile, en un repos complet, source profonde de la nature, l'intelligence, la connaissance même, il entre en mouvement quand les êtres particuliers se l'approprient; soit en repos et sans forme, soit en mouvement et prenant forme, ceux-là seuls qui savent perfectionner leur nature le possèdent en sa plénitude et en son unité.

Note. — Le § 1 traitait de la loi du ciel et de la terre; c'est ce qu'on appelle la grande Harmonie, et c'est pourquoi ce paragraphe portait ce titre. Celui-ci, parlant de la nature du ciel et de la terre, est pour cela intitulé « Du grand Vide ».

La loi rationnelle (*Tao*) est l'action de la nature se propageant. Ce qu'on appelle Harmonie est l'action de l'homme suivant sa nature, l'accord des

1 La loi rationnelle des êtres. Le mot *Tao* est pris en sens très différent, par les diverses écoles de philosophie. Le *Tao* de Tchang-tze n'est pas du tout celui de Lao-tze.

2 Le célèbre ministre et frère de Wu-Wang, le premier des Tcheous qui régna sur la Chine.

3 Ces deux termes sont synonymes. Comme l'explique Tchou-hi, le Vide, le *Non* (wuh) est ce qui est sans forme, inaccessible aux sens.

4 Le grand Vide sans forme est la substance fondamentale du *khi*. Cette substance dans l'homme est (d'abord) en parfait repos, sans excitation. C'est la source profonde de la nature, le corps de la loi des êtres, le fondement unique de mille espèces diverses. (Commentaire P'o-tchou.)

5 C'est le mode d'action, d'extension et de communication du khi. Dans l'homme, il est l'intelligence, la connaissance. Dans les choses, il est le principe de communication, de relation mutuelle, de formation; c'est la manifestation visible de la nature, la loi en acte. Les actes de ce principe sont les mille espèces, les mille branches d'une même racine. Cette substance n'a qu'une source; cachée ou visible, elle est pleine, sans interstice; mais l'homme qui parfait sa nature et accomplit toute justice est le seul qui en maintienne l'unité.

Digitized by Google

actes avec leurs règles. La nature est le fondement de la loi rationnelle. Le Vide est le repos qui règne en l'homme naissant, semblable à celui du ciel.

La condensation et la dispersion dont parle le chapitre II répondent à la mise en mouvement et repos réciproques du précédent. L'intellectuel pur, sans forme, du premier, correspond au grand Vide amorphe du second.

Ainsi, nature et loi rationnelle sont entre elles comme la substance et les actes; c'est pourquoi on les dit unies et en rapports réciproques intimes et essentiels.

3. La substance du ciel et de la terre, bien qu'il y ait en elle attraction, écart, rencontre, concentration, de manières nombreuses et diverses, est cependant, grâce à son principe rationnel (*li*) qui se prête aux différentes occurences, exempte de toute erreur et ne faillit en rien.

Cette substance forme les êtres; venant à se diviser, elle entre dans le monde sans forme; se condensant, elle forme nos corps, mais ne s'écarte point pour cela du principe constitutif [1].

Le grand Vide ne peut être sans le *khi;* le khi ne peut, sans s'agréger, former les divers êtres. Quand leurs éléments se dispersent, ils reforment nécessairement le grand Vide.

Il en est ainsi nécessairement; cette manifestation extérieure (du khi) et cette condensation (de ses éléments) ne peuvent pas ne point se produire. C'est pourquoi les saints accomplissent ainsi les règles de la raison (Tao); se constituant eux-mêmes en tout et partout, ne se laissant entraîner, subjuguer par rien, ils peuvent ainsi porter à leur perfection leur intelligence, leurs qualités merveilleuses.

Ceux qui connaissent ce qu'est la cessation du repos, avancent et ne reculent point. Mais ceux qui, une fois nés, restent invariablement dans une même condition, sont, comme les êtres matériels, incapables de se corriger. Mais quoique différents, les uns et les autres, s'ils manquent à la loi rationelle, ils tombent au même niveau.

[1] Elle est composée d'éléments infiniment subtils. Ces éléments divisés sont inaccessibles aux sens et sans forme; pour former les êtres visibles, perceptibles, ils se condensent. Mais, condensés ou dispersés, ils gardent la même nature fondamentale.

Digitized by Google

COMMENTAIRE. — Dans le Ting-shing de Tchang-Ming-Tao [1], il est dit : C'est ainsi la loi du ciel et de la terre; leur cœur est égal pour tous les êtres; ils sont donc comme sans cœur. La loi des saints est que leurs pensées, leurs volontés, étant portées à se conformer aux (désirs et besoins des) autres êtres, ils sont comme sans pensée. Voilà ce qu'énonce ce chapitre.

4. Si l'on sait que le Vide est le *khi,* on saura que, être et non-être, caché et manifeste, merveilleux intellectuel et transformation, nature et destin, sont une seule et même chose, et non deux choses (différant couple à couple). La source de leur différence est uniquement dans la condensation et la division, la manifestation et l'absorption en soi, la forme extérieure et l'absence de forme.

Celui qui sait prendre cela pour base et en déduire le reste a pénétré les secrets du Yih-king.

Si l'on dit que le vide peut produire le khi, c'est qu'alors le vide est infini, que le khi a des bornes [2], que la substance et ses actes sont choses toutes différentes [3], et l'on tombe dans le système de Lao-tze, que l'être vient du non-être [4] et en naît de lui-même [5]. On ne comprend pas ce que cela veut dire : que l'être et le non-être ont un seul et même principe.

Si l'on soutient que toutes les formes perceptibles sont les êtres (particuliers et visibles) aperçus dans le grand Vide, on doit dire alors que ces êtres et le vide sont sans rapport essentiel entre eux; les formes sont ainsi uniquement formes et la nature purement nature [6]. Les formes et la nature, le ciel

[1] Tchang-tze lui-même.

[2] Si le *khi* est produit, il est fini et borné; ce qui le crée est seul infini.

[3] La substance, dans ce cas, sera le vide; ses actes seront ses productions, le khi dans les êtres particuliers.

[4] D'après Tchang-tze, l'être ou le khi et le non-être ou le vide sont un seul et même agrégat d'éléments subtils; dans l'un ils sont atomiquement dispersés, dans l'autre ils sont concentrés pour former les êtres.

[5] Suivant Lao-tze, le non-être ou l'être à l'état intellectuel, suprasensible, existe d'abord, et de lui naissent l'être et tous les êtres perceptibles. Ils diffèrent donc essentiellement.

[6] Si les êtres ne sont que vus dans le *hu*, ils n'en dérivent pas, leur substance est étrangère à celle du vide. Le ciel est ici pris comme le principe du vide et l'homme comme celui des êtres perceptibles.

Digitized by Google

et l'homme (isolés l'un de l'autre) ne se soutiendront plus, et l'on tombera dans la doctrine de Bouddha qui fait de la terre entière un lieu de malheur [1].

Cette doctrine est ténébreuse et basse [2]. Les gens droits, mais peu instruits, ne connaissant les choses que sommairement, prennent le vide pour la nature et ne savent pas agir comme il le faut, en tenant pour principe, la loi, le mode du ciel. Bien plus, s'arrêtant au peu que voit l'homme, ils en déduisent la nature du ciel et de la terre.

Leur intelligence étant imparfaite, ils font, par erreur, du monde entier, des principes actif et réceptif, une illusion, une œuvre de magie [3].

Ne pouvant rendre compte de ce qu'est l'essence du mystérieux imperceptible et de l'apparent, passant par-dessus (ne distinguant pas) les espèces différentes, ils se forment des opinions erronées.

Ils ne comprennent pas que le principe d'*un yin* et *un yang* [4] constitue et délimite le ciel et la terre; que pénétrant la lumière et les ténèbres [5] ils forment la mesure des trois principes suprêmes [6] et du grand milieu. Ils confondent comme identiques la doctrine de nos livres avec celles de Lao-tze, de Bouddha et de Tchouang-tze [7].

Certains lettrés qui ne se laissent pas prendre dans les erreurs et les

[1] Si la nature et les êtres, si le ciel et l'homme sont séparés, indépendants l'un de l'autre, il n'y a plus ici bas qu'opposition, lutte et malheur sans recours au ciel, le seul appui possible de l'homme.

[2] *Puh ming*.

[3] Les Bouddhistes disent que tout est néant dans le néant. (Commentaire.)

[4] Tout se forme par l'action successive du yang et du yin, le premier excitant, le second réagissant. Ainsi un élément yin succède à un premier élément yang, et leur combinaison et corrélation constitue petit à petit toutes choses.

[5] Ils agissent la nuit comme le jour, dans les ténèbres comme au jour; pour produire les être distincts ils doivent nécessairement leur donner leurs bornes, leur mesure, les délimiter.

[6] Les trois grandes puissances ayant une nature spéciale : le ciel (yang), la terre (yin) et l'homme (composé des deux). Le grand milieu est l'entre ciel et terre.

[7] Lao-tze et Bouddha sont suffisamment connus. Tchouang-tze, qui vivait au IVe siècle A. C., étudia d'abord le Tao et chercha à en pénétrer les mystères. De là il tomba, dit-on, dans un scepticisme qui lui faisait considérer l'univers entier et sa propre personne comme des rêves. Nous avons vu dans l'Introduction de ce livre que c'était là une erreur manifeste; les vraies doctrines de Tchouang-tze y ont été exposées sommairement.

Digitized by Google

rêves (des Bouddhistes) en méditant sur la loi du ciel, de la nature et du destin, soutiennent que l'être vient du non-être; ils veulent, dans leurs discours, atteindre les plus hauts sommets (de la pensée) et pénétrer les mystères. Ne sachant choisir ce qui convient dans la voie de la vertu, ils veulent trop embrasser; on les voit ainsi, enveloppés dans les ténèbres de leurs erreurs, tomber dans le vice [1].

5. Le *khi* [2] étant répandu largement dans le grand Vide, monte, descend, s'élève et s'abaisse, sans fin ni cesse. Le Yih-king dit qu'il s'y condense et s'harmonise, et Tchouang-tze que la substance de tout ce qui se produit, est créé, se forme en se coagulant comme des vagues de poussières qui se condensent.

Le principe de ces permutations du vide et du réel, du mobile et de l'immobile, celui des mouvements du yin et du yang, du faible et du fort se produisant de la sorte, s'élevant, c'est le yang pur. Celui des mouvements de descente, d'abaissement, c'est le yin en sa nature trouble et impure.

C'est par ces mouvements et ces appropriations, ces agrégations et ces dispersions, que le vent et la pluie, la neige et le verglas, comme aussi tous les êtres visibles, se produisent, que les monts et les fleuves se forment [3] et que le mal et l'impur en proviennent, comme les cendres par la combustion [4]. Telle est la vraie doctrine [5].

[1] D'après Lao-tze, il y a un non-être en dehors de l'être. Il fait ainsi du monde et des deux principes une transformation révolutive. D'après Bouddha, au sein du non-être il n'y a que non-être; il fait ainsi du monde et des deux principes une pure magie. Ces deux erreurs occupent tout ce paragraphe. (Commentaire.)

[2] La substance universelle, atomique dans le grand vide, condensée, perceptible dans les êtres particuliers.

[3] Ces formations sont expliquées ailleurs.

[4] Ce sont les scories résultant du travail de combinaison qui forme les êtres particuliers.

[5] C'est le vrai principe rationnel (*li*). Il est dit au Li-ki : La loi du ciel est le principe doctrinal suprême; les saints sont la vertu suprême. Le ciel et la terre ainsi que les saints sont tout semblables. Les choses fines et subtiles sortent des grossières pour se produire et se montrer, et manifestent ainsi leur loi rationnelle (*tao li*). Les choses grossières se formant la font paraître de la même manière. Les plus grossières ne sont point sans cela. Ciel, terre et saints, tout est de cette façon. (Commentaire de Tchou-hi.)

Digitized by Google

6. Lorsque le khi se condense, alors le *li* [1] se manifeste, se répand et prend une forme apparente.

Quand le *khi* ne se condense pas, l'éclat extérieur (le *li*) ne se manifestant point, ne prend point une forme. Quand même il se condense, on ne saurait pas dire que sa forme est passagère : d'autre part, quand il se disperse, on ne peut pas dire non plus qu'il n'existe plus.

Aussi les saints, considérant le haut et pénétrant le bas [2], connaissent la cause productrice du mystérieux invisible et de ce qui se manifeste (aux sens); mais on ne peut pas dire qu'ils connaissent la cause de l'être et du non-être [3].

Ce qui remplit l'intervalle entre le ciel et la terre ce sont les corps formés selon la loi des êtres [4].

La beauté [5] et le principe intellectuel, sans la lumière, l'éclat extérieur (du *li*), ne se verraient pas, ne s'observeraient pas [6].

Quand une forme [7] perceptible se produit, on voit par là la source du mystérieux invisible. Par ce qui est en lui sans forme, on voit la cause de l'intellectuel [8].

7. La condensation et la dispersion du khi dans le grand Vide sont semblables aux états de l'eau et de la glace produites par la congélation et la fonte.

Le grand Vide est le khi lui-même (dont les éléments se sont divisés à l'infini et désagrégés complètement). Le *rien* n'existe pas.

1 L'un des mots expliqués au Yih-king et signifiant éclat, beauté de la forme qui se manifeste aux yeux (koua XXX). Il est pris ici comme entité, substance : au Yih il a le sens d'abandonner, *li*.

2 Le ciel et la terre, toutes choses.

3 D'après l'auteur, le point de vue qui fait distinguer l'être et le non-être est pris à faux. Le non-être n'est que le khi divisé à l'infini, le rien n'est pas. (Voy. § 7.)

4 *Fat siang*, mots qui rappellent le *dharma kâya* des Bouddhistes.

5 La beauté résultant du bel et sage arrangement des choses; sans le rayon de lumière qui l'illumine on ne la verrait pas.

6 Cp. *Terra autem erat inanis*.

7 Plutôt : ses formes, les formes que le *li* manifeste aux sens. Ces formes font connaître leurs causes.

8 *Ming*. Peut-être : de ce qui paraît, se manifeste, comme Brahma *udbabhâu*. (Lois de Manon, I, 8). La forme manifeste la cause amorphe et celle-ci, la source de l'intellectuel. D'après Tchou-hi, le *li* est simplement le khi condensé que l'œil peut saisir et voir, mais qu'il ne peut apercevoir quand il ne se condense pas. Le *li* du Yih-king est l'œil, le représente.

Digitized by Google

C'est pourquoi les saints, discourant de la nature, du principe suprême de la loi du ciel, se bornent à parler des mouvements et changements qui s'opèrent dans l'ensemble harmonique du principe suprasensible. Tous les lettrés qui distinguent l'être et le non-être se trompent et ne peuvent acquérir la doctrine complète du principe intellectuel [1].

8. Le nom [2] du ciel (*t'ien*) provient du grand Vide; celui de la loi rationnelle (*tao*) vient des transformations du khi. Le nom de la nature dérive de l'accord du vide avec le khi, et celui du cœur, de la conformité de la nature avec la connaissance (que l'esprit en a).

Commentaire [3]. — Ces quatre choses sont identiques quant au fond, les noms seuls diffèrent [4]. Si l'on considère principalement le grand Vide, cela s'appelle « le ciel »; car c'est le principe suprême (*Tai khi*). Si c'est le khi, alors c'est « la loi rationnelle d'existence et d'action » (*tao*); c'est le yin succédant au yang. (Voir plus haut § 4.) Si l'on envisage surtout l'accord du khi avec le grand Vide, on a « la nature », et cette nature est le décret du ciel. Si c'est au contraire l'influence de la nature sur l'intelligence (qui la connaît), la connaissance étant un mouvement du sang et du khi, on aura le cœur. En réalité tout cela est un seul principe rationnel, le *li*.

Le ciel et la loi des êtres ont leur siège dans le ciel [5]; la nature et le cœur l'ont dans les hommes [6].

1 Ceci veut dire uniquement que le *li*, principe rationnel, et le *khi* sont une même chose; que la condensation et la division du khi sont les manières d'être du grand Vide; que le *li* ne se sépare pas du khi pour tomber dans la *mâyâ*, l'illusion; qui sait cela, sait que le rien n'est rien, que le rien n'existe pas et conséquemment que le *li* du grand Vide n'est pas le néant. (Commentaire.)

2 Nom est pris ici, comme fréquemment, dans l'acception de nature, le nom étant donné d'après la nature de l'être.

3 De Tchen-tchi.

4 Ce sont quatre manières d'être d'un même élément fondamental, ou un même élément considéré à quatre points de vue différents. Tout l'ensemble originaire forme le grand Vide ou le ciel; quant à ses actes et à leur loi, c'est le khi évoluant et le tao; les rapports entre le fond et les actes constituent la nature; les rapports entre l'élément avec ses actes et la connaissance forment le cœur ou plutôt l'intelligence; car en Chine c'est tout un.

5 Celui-ci l'a donc en lui-même.

6 C'est en eux qu'ils deviennent des réalités, des substances concrètes.

Digitized by Google

9. Des esprits célestes et terrestres. — Les esprits sont les deux puissances fondamentales du khi [1]. La sainteté est la vérité complète [2]; l'intellectuel est formé de ce qu'il y a de merveilleux, de suprasensible dans le grand Vide [3]. Toute forme produite par la loi du ciel et de la terre est la partie inférieure, impure (matérielle) des productions de l'intellectuel, du spirituel.

Commentaire. — D'après Tcheng-I-tchouen, les esprits sont ce qui se manifeste dans les créations et transformations [4]. Cette définition, dit Tchou-hi, est très inférieure à celle qui précède et qui appartient à Tchang-heng-hin. Celle-ci est claire et lucide et revient à ceci, que l'essence de la puissance fondamentale se trouve dans le yin et le yang successifs.

Ces deux puissances du khi, produites d'elles-mêmes, se contractent et s'étendent, vont et viennent, possédant ces facultés par elles-mêmes [5].

10. Si elles n'existaient pas toutes deux, celle qui existerait ne pourrait être aperçue, et en ce cas l'activité de toutes deux cesserait.

Ces deux éléments sont le vide et le réel, le mouvement et le repos, la condensation et la division, la pureté et le trouble. Mais tout cela se résume en un seul élément.

Lorsque le mouvement s'est produit et qu'il s'étend, pénètre les êtres, si tous deux n'existaient pas, un seul n'existerait pas davantage. C'est pourquoi on fait des deux principes actif et réceptif le fondement de toutes choses. Si l'on ignore le *k'ien* et le *k'ven,* c'est qu'on ne comprend pas le Yih-king.

[1] Le khi produit aussi le matériel, mais c'est sa partie accessoire, inférieure, son produit extrême, sa lie. L'intellectuel sort de sa racine même, c'est son essentiel, sa partie lumineuse et pure. Ces deux puissances sont les principes fondamentaux du yang et du yin.

[2] Elle réalise toute la bonté essentielle de la nature. On pourrait dire aussi que c'est la « droiture parfaite ». Même principe au Tong-shou.

[3] Le grand Vide est le *khi* dans ses éléments complets et non distingués. De ce khi sont formés les êtres spirituels, suprasensibles, et les êtres matériels.

[4] Qui les produisent de manière à démontrer leur existence et leur puissance merveilleuses, insaisissables par les sens.

[5] Elles sont éternelles et rien ne les a produites; elles forment la racine du khi.

Digitized by Google

Commentaire. — Le mouvement se produit par l'impulsion donnée de l'un à l'autre (et cette impulsion se fait) car ils sont deux. Ce qui pénètre, c'est le spirituel se répandant, agissant sans cesser : il est un. — Si le yin et le yang n'existaient pas, s'excitant mutuellement, allant, venant, s'échangeant, comment connaîtrait-on le mouvement incessant du suprasensible qui est en eux? C'est pourquoi il est dit que si tous deux n'existaient point, aucun des deux n'existerait[1].

10. Le khi, en ses évolutions, se mêlant, se composant et formant tous les éléments des êtres, produit les diverses espèces d'hommes et de choses. Ses deux parties, le yin et le yang, évoluant ainsi sans s'arrêter jamais, constituent la loi suprême du ciel et de la terre[2].

Commentaire. — Le khi sort comme de lui-même, se divise, engendre les êtres. Ses évolutions consistent en ceci, qu'il agit en se répandant. Ses éléments se mêlent et se composent, c'est-à-dire qu'ils s'unissent et que ce qui est inégal s'aplanit. Ce qui produit les êtres, c'est le khi en ses évolutions. Produisant les êtres, il agit circulairement, montant et baissant, et il n'y a pas à l'origine deux khis, l'un augmentant, l'autre diminuant[3].

11. Le khi a pour base originaire le Vide[4]. Originairement pur, il était alors sans forme perceptible. Mis en mouvement, il naît[5], il se condense et prend une forme perceptible[6].

Pourvu d'un corps, devenu perceptible, il rencontre aussitôt une opposi-

[1] Un élément ne peut se mouvoir lui-même; il en faut un second pour que l'action de l'un sur l'autre puisse s'exercer. S'il n'en existait qu'un seul il n'y aurait ni mouvement, ni manifestation de l'existence, ni production, ni connaissance. Le mouvement du suprasensible se connaît par les formes.

[2] Cp. page 40.

[3] Il n'y a qu'un seul khi et deux principes, l'actif et le réceptif, dont les rapports variant font monter et descendre la substance générale.

[4] Le khi qui compose les êtres a pour origine l'élément infiniment subtil, indistinct et immense.

[5] Il commence à être une substance déterminée, distincte, vivante.

[6] Aux sens ou à l'intelligence et pas seulement « visible ».

Digitized by Google

tion [1]. Cette opposition entrave, combat son action; ce qui engendre (comme) une hostilité. A cette hostilité il met fin par l'harmonie, par la combinaison des éléments divers.

Alors les sentiments d'affection, d'attrait et de répulsion se produisent, s'élevant également du grand Vide; surgit le désir des choses extérieures [2].

Naissant ainsi subitement, se complétant avec promptitude, il n'a point en lui d'intervalle, pas même de l'épaisseur d'un cheveu. C'est la nature spirituelle.

Commentaire. — Ceci indique les mouvements de condensation et de dispersion au sein du grand Vide. C'est le modèle des facultés du cœur humain.

De même que quand les formes sont produites dans le grand Vide (les éléments du khi entrent en opposition et se concilient), de même quand le cœur humain subit l'action des objets extérieurs, il s'y forme des oppositions et des attractions réciproques. Quand il y a opposition, on hait; quand il y a concorde, on aime. Ces mêmes affections sortent du fond du grand Vide et conduisent au désir des objets. Tous les hommes sont adonnés à ce désir.

Le ciel et la terre naissent subitement, engendrent et complètent subitement les êtres; ils les conservent et maintiennent sans délai ni hésitation, sans que rien leur échappe, pas même l'épaisseur d'un cheveu.

Les saints agissent et s'arrêtent avec promptitude (selon les besoins), se conforment aux besoins des êtres sans arrière-pensée, sans aucun égoïsme. C'est ce que veut dire : « se complétant entièrement sans se laisser entrainer, il assure à l'intellectuel, au spirituel, sa perfection [3]. »

Chapitre II. — *Des combinaisons des éléments. — Unité et dualité.*

12. Une seule substance et deux puissances d'action, tel est le khi. Il est un, c'est pourquoi il est spirituel [4]. Il est double et c'est pourquoi il a des opérations et transformations [5]. Ainsi il est semblable au ciel.

[1] Dans leurs mouvements les éléments premiers se choquent entre eux.
[2] Littéralement : il en arrive à...
[3] Ou bien « complétant les formes, etc. » Il s'agit du khi.
[4] Étant double il est insondable. (Commentaire.) La cause de sa dualité est insondable.
[5] Mû par sa dualité il n'a qu'un seul principe de ses actes. (Commentaire.)

Digitized by Google

Commentaire. — Cette sentence est très profonde. Cet *un* se meut et évolue au milieu des êtres; c'est le yin et le yang se mouvant en divers sens. Unique, sans lui il n'y aurait point d'être. Double, il est en cela incompréhensible. Si tout était un, il ne pourrait y avoir aucune production particulière; double, il produit toutes les créations et formations, par les mouvements du yin et du yang qui commencent la formation des êtres. Mais ce double principe se meut et agit comme un seul.

13. Le ciel tourne à gauche et tout ce qui est en lui le suit sans résistance, mais plus tardif en sa marche, tout cela se trouve de plus en plus à droite.

Commentaire. — D'après Tchou-hi, Tchang-tze a raison de dire, contrairement à l'opinion commune, que le soleil et la lune vont de droite à gauche. Les astronomes trouvant de la difficulté à compter les degrés de la marche en avant, ne supputent que le recul; c'est tout leur système. Aussi disent-ils que le soleil va à droite. Ils admettent cela parce qu'ils jugent facile de connaître les degrés de la marche du soleil et de la lune. Il est également faux que le soleil avance lentement et la lune avec rapidité.

Le ciel n'a pas de corps; les vingt-huit astres sont son corps; toutes choses se règlent en suivant le ciel. Le soleil, la lune et les planètes marchent vers la gauche comme le ciel; mais leur vitesse n'est pas égale et l'on ne peut la compter d'après le mouvement du ciel (qui est plus rapide que celui des astres).

Le mot de Tchang-heng-kiu : « le ralentissement se fait de plus en plus du côté droit » est très profond. Le soleil et la lune sont comme une petite sphère tournant dans une grande. La grande tourne vite, l'autre plus lentement; ainsi, malgré la marche commune vers la droite, elle paraît cependant se faire dans le sens opposé [1].

Cette comparaison de Tchou-hi correspond aux neuf sphères des astronomes [2].

[1] La sphère qui reste en arrière semble reculer.

[2] Ils divisent le ciel en neuf sphères à mouvement accéléré graduellement.

Digitized by Google

14. Voici la loi de diminution et d'augmentation, de croissance.

La lune est proche de l'homme. Le soleil plus éloigné se trouve au delà. La lune emprunte sa lumière au soleil; cette lumière lui est extérieure. Quand on en regarde le commencement et la fin, elle parait comme un fer de faucille. Au milieu de sa course elle est comme un demi-sceau. A ces signes on voit sa croissance et sa décroissance.

La lune et le soleil sont en rapport étroit par leur corps; mais quand on considère leurs voies, on trouve entre eux la différence de l'activité et de la réceptivité, de la direction et de la soumission.

Les étoiles, la lune, l'or et l'eau reçoivent leur éclat du feu et du soleil. Le yin est réceptif et le yang produit et répand. Les essences du yin et du yang cachées, chacune en son lieu propre, y sont en repos et sûreté. Aussi la forme du soleil, comme celle de la lune, ne change jamais. Mais la substance du yin et du yang se meut, évoluant en cercle et se transformant constamment; se condensant et se dispersant successivement, montant et descendant, ces principes se développent ainsi l'un l'autre, ils se cherchent mutuellement; se combinant, s'harmonisant, ils s'entremêlent de la même manière. Se condensant, s'influençant réciproquement, ils tendent à l'unité et jamais ne s'unifient. Leurs contractions et expansions n'ont point de terme. Leurs évolutions n'ont point de fin et ne changent jamais, mais se perpétuent à travers les siècles.

Si cela n'est pas le principe rationnel, la loi de la nature et du décret céleste, que pourrait-ce bien être [1]? (Il en est donc ainsi.)

Commentaire. — L'essence du yin et du yang se conserve immuable en son siège invisible [2]. La nature une fois constituée ne peut plus être détruite, écartée. Le khi du yin et celui du yang se pénètrent en évoluant et changeant. C'est le produit de l'action du destin céleste et cela n'a point de fin. Cela évolue et change par des rapprochements et écarts successifs. La substance du yin, comme celle du yang, est le résultat de l'action de leur essence principielle. Ces

[1] C'est par ces évolutions des deux principes que ces philosophes expliquent tout.

[2] Ceci reproduit les termes du texte.

Digitized by Google

changements sont comme les révolutions du soleil et de la lune, le froid et le chaud se succédant. — L'essence et le khi (substance) [1] sont une même chose. La nature et le décret céleste sont un même principe d'action.

15. La puissance principale, originelle, du yang, est d'exciter, de porter vers et de se répandre. Celle du yin est d'arrêter, de fermer. La nature du yin condense et rassemble; celle du yang produit au dehors et disperse. Ce que le yin condense, le yang le disperse. Son action dispersante est continuelle.

Lorsque le yang est attiré vers le yin, alors, se saisissant mutellement, ils produisent la pluie et descendent.

Si c'est le yin qui s'introduit dans le yang, alors ils s'élèvent en tourbillon, ils montent et les nuages se produisent. Ces nuages s'étendent et se répandent dans le grand Vide. Le yin, poussé par le vent, se contracte, se condense et ne se dissipe pas.

Lorsque la substance du yin en se congelant et condensant contient du yang en son intérieur sans que celui-ci puisse en sortir, alors il s'excite, et voulant briser l'enveloppe, il forme le tonnerre et ses éclats.

Si le yang est à l'extérieur et ne parvient pas à pénétrer dans le yin, il ne cesse de tourner autour et de s'agiter; il forme alors le vent.

Commme dans leur réunion (les éléments des deux principes) sont plus ou moins rapprochés et éloignés, pleins et vides, le tonnerre et le vent sont en conséquence plus ou moins forts, plus ou moins violents. Si, s'étant condensés, ils viennent à se disperser, ce sera la neige et le verglas, la pluie et la rosée.

S'ils se dispersent sans se combiner, alors leurs substances en opposition formeront la poussière et le brouillard.

Lorsque le yin, dispersé et lent, subit l'action du yang qui le pénètre, alors le vent et la pluie s'harmonisent, le froid et le chaud sont dans des conditions normales et modérées.

[1] La substance est le produit de l'essence séminale (*tsing*); mais ce produit est comme une chose se développant en elle-même et sans distinction de substance.

Digitized by Google

Commentaire de Tchou-hi. — Tout ceci montre l'essence des deux principes. Le yang monte droit et rencontre aussitôt le khi du yin. Si, s'étant combinés, ils descendent, c'est la pluie, car le khi du yang est léger et celui du yin très lourd (il entraîne donc l'autre en bas). Quand le khi du yin monte, il rencontre le yang et, s'élevant avec lui, il va former les nuages. Le yang enfermé et brisant les obstacles forme le tonnerre. Le yin bien serré et fermé ne laisse pas pénétrer le yang; celui-ci ne cesse de tourner autour et (ce mouvement) forme le vent. Quand la substance du yin est entièrement dispersée par ce souffle, le yang (et le vent) s'arrête. Si le yin résiste, ce sera la grêle.

La poussière sèche, comme le brouillard, est le khi nuisible du yin et du yang; de là, la glace, la grêle souillée et impure dont la couleur est bleue ou noirâtre.

16. Le feu et le soleil, brillants à l'extérieur [1], savent répandre leur éclat avec régularité et comme cela doit être.

L'or et l'eau, brillants intérieurement [2], peuvent s'ouvrir et recevoir (d'autres substances en eux). S'ils en reçoivent, ce sera d'après les propriétés particulières de chacune. Cette expansion se fait avec une puissance de combinaison inépuisable.

Le suprasensible et le sensible ont respectivement la nature du ciel et de la terre.

17. Le bois est dit à la fois courbe et droit, car après avoir été courbé il peut être redressé. L'or est ductile et changeable; mais quand il a été fondu et transformé, il ne peut plus revenir de lui-même à son état.

L'eau et le feu sont du khi; aussi la flamme s'élève et l'eau descend, montant et descendant avec le yin et le yang.

La terre n'est point ferme et ne peut l'être. Le bois et l'or sont les fleurs

[1] Parce qu'ils ont la nature du yin, ils sont obscurs intérieurement et brillent au dehors.

[2] Ces deux-ci appartenant au yang, brillent intérieurement et sont obscurs au dehors. Se répandre et pénétrer, c'est la nature du ciel; recevoir, contenir, est celle de la terre. Le premier est le merveilleux du suprasensible, la terre est le merveilleux des formes sensibles. (Commentaire.) Al. Le suprasensible du ciel est le merveilleux des formes terrestres.

Digitized by Google

et le fruit de la terre. Leur nature s'allie facilement avec le feu et l'eau. C'est pourquoi le bois germe et pousse quand l'eau l'a imbibé. Quand le feu y prend, on ne peut plus l'en séparer. Il prend les fleurs de la surface de la terre par la rencontre et l'union avec l'eau et le feu.

Le métal reçoit la substance séminale du feu dans la sécheresse de la terre, et la sève de l'eau dans l'humidité du sol. Alors l'eau et le feu se contenant l'un l'autre ne se détruisent pas. Fondu, l'or devient de plus en plus fluide, semblable à l'eau et sans diminuer de substance; car il reçoit le germe de la terre au milieu du feu et de l'eau [1].

La terre a la vertu de produire le commencement et l'achèvement des êtres d'ici-bas. Car l'élément terrestre est le terme de toutes les productions et transformations. Par les mouvements ascendants et descendants de l'eau et du feu, les êtres reçoivent leur formation complète et rien n'y échappe [2].

Commentaire. — Tchou-hi approuvait complètement ce dire du Tcheng-Meng. L'eau, le bois, l'or et le feu sont bien ce qu'il dit, de la nature de la terre; il y a toutefois lieu de distinguer.

L'or est de la nature particulière du bois et de l'espèce de la terre; mais le feu et l'eau ne sont pas de cette espèce spéciale (ils ne tiennent à la terre que par la nature générale du yin).

L'eau engendre le bois, le bois engendre le feu; ainsi le bois est fils de l'eau et père du feu. — Le métal ayant reçu en lui le souffle chaud, se fond et se mêle; par le froid, il se durcit et se condense. Si de la sorte on sépare l'eau et le feu, ils ne s'entre-détruisent plus. Si on le fond par le feu et le fait couler, l'or devient eau. Ainsi il est intermédiaire entre l'eau et le feu.

18. Le yang pénétrant dans le yin forme l'eau; s'il s'attache au yin extérieurement, il forme fe feu.

[1] Le métal, l'or spécialement, est composé de terre, de feu et d'eau; son lieu de dépôt, son éclat et sa ductibilité prouvent le concours de ces trois éléments.

[2] Tout ici-bas (excepté l'homme) naît de la terre; cela se fait par les mouvements divers et l'action du feu et de l'eau sur la terre, le sol.

Digitized by Google

COMMENTAIRE. — Jadis tous les philosophes, se référant au *li* [1], disaient que le yin s'attache au yang. Tchang-tze seul dit que le yang s'attache au yin. Qu'il en soit ainsi, c'est ce qu'on constate par ce seul fait que le feu s'attache aux arbres et plantes.

CHAPITRE III. — *De la loi, de l'ordre du ciel.*

19. La loi du ciel est la marche des quatre saisons et l'engendrement de tous les êtres. C'est l'enseignement suprême.

Les actes des saints constituent la vertu suprême. Chose ineffable!

Le ciel forme tout sans exception, de même que la bonté forme toute action et doit se trouver en toutes. Les rites ont trois cents préceptes. La gravité, la dignité, en ont trois mille, mais rien ne peut être dépourvu de bonté.

Le ciel est l'intelligence même : où que tu ailles il se trouve; le ciel est brillant et éclairé : partout où tu te rends il te suit [2]. Il n'est rien qui n'en reçoive sa substance et sa forme.

Ce qui dans le ciel ne peut être sondé et compris est ce qu'on appelle le spirituel, le suprasensible. Le spirituel suprasensible qui l'est par nature et invariablement, est le ciel. Ce qui opère, évolue, sans forme sensible, est la loi, l'ordre (*tao*). Tout ce qui est inférieur et doué d'une forme perceptible ne peut recevoir ce nom.

CHAPITRE IV. — *De la nature spirituelle et des créations.*

20. Le spirituel est la qualité essentielle du ciel (*teh*). Créer, former est sa loi (son mode d'action) (*tao*). Cette qualité est sa substance, la loi est son mode d'action (*yong*). Tout cela se réunit dans le khi [3]. L'intelligence du vide qui reflète sa lumière est celle de l'être spirituel. En tout ce que l'on

[1] Voir § 6.

[2] Ces vers du Shih-king sont ici rappelés comme renfermant une idée identique à celle de l'auteur. Le ciel est intelligence et lumière intellectuelle, il est partout, il voit tout, il forme tout.

[3] Le khi comprend tout, c'est la substance universelle qui a sa loi en elle-même.

Digitized by Google

fait il est utile d'en faire usage sans distinguer le proche de l'éloigné, le profond du superficiel [1]. Sa plénitude n'a point d'interstice [2].

Le khi contient le yin et le yang [3]; dans leur diffusion et leurs opérations il y a des degrés; il s'y fait des créations et des transformations [4]. Mais une seule notion, l'insondable, constitue la nature spirituelle [5].

Quant à l'homme, s'il connaît les principes d'équité et sait faire un heureux usage de ses facultés, toute l'action du spirituel et de sa puissance formatrice [6] est accomplie en lui.

La vertu, quand elle est arrivée à sa perfection, porte la nature spirituelle à son point extrême. Alors la science n'est plus digne d'attention [7].

Lorsqu'on connaît toutes les opérations formatrices, alors il n'est plus besoin de parler de principes [8].

Le point suprême (de la vertu) peut être atteint. Quand il l'est, il n'y a plus lieu à transformation; il n'y a plus qu'à l'exercer et c'est tout.

Le Yih-king dit : quand on a pénétré toute la nature intellectuelle, on connaît toutes les productions possibles [9]. La vertu accomplie est la perfection de l'exercice de la bonté; mais ce n'est point par sa sagesse ou ses efforts qu'on peut l'obtenir comme de force [10].

Porter les principes rationnels à leur plus grande pureté, c'est pénétrer la nature spirituelle.

Formant son intérieur par les actes (la pratique des vertus), on doit chercher l'avantage des autres [11]. L'avantage essentiel est ce qui nous donne

[1] Termes consacrés pour dire : sans faire aucune distinction.

[2] Le vide n'est que la substance universelle amorphe, elle est donc la substance des êtres spirituels, et l'intelligence, l'éclat de ces derniers appartient au vide.

[3] Comme il contient le spirituel et le sensible.

[4] *Hvā*, ce qui indique toute création, production ou formation.

[5] Le spirituel ne peut être perçu par les sens, l'esprit de l'homme ne peut en comprendre la nature, ni constater sa présence, prévoir ses actes, etc.

[6] C'est à la puissance spirituelle seule qu'appartient la vertu formatrice.

[7] On sait tout ce qu'on doit savoir.

[8] On les suit naturellement.

[9] Puisqu'elles appartiennent à cette nature. Cp. note 5.

[10] La bonté est la qualité du cœur; les calculs et les efforts n'y peuvent rien.

[11] *Ngo wai*. La version mandchoue rend le sens comme nous le faisons.

Digitized by Google

la paix intérieure. Tout en cherchant l'avantage d'autrui nous devons aussi (penser au nôtre et) perfectionner notre intérieur.

Si l'on pénètre toute la nature spirituelle on connaîtra toutes les productions (dit le Yih-king), et sa propre formation atteindra sa plus haute perfection d'elle-même; on ne l'acquerra pas par ses combinaisons et ses efforts.

On n'atteint pas le spirituel par des raisonnements ou la méditation [1]. On le tient pour existant et c'est là le moyen. On ne peut aider les opérations de la nature [2]; on s'y conforme et c'est tout.

Si, posant le vide et le spirituel, on porte la vertu à sa perfection, si l'on se conforme aux transformations, aux opérations de la nature et pénètre le cœur même du temps [3], (on atteint) le summum de la bonté, la perfection des principes d'équité et de raison [4].

21. Le spirituel seul peut opérer les productions et transformations, car lui seul est le moteur du monde. Si l'homme parvient à connaître la loi des productions et transformations, il connaîtra les actes de l'être spirituel et les comprendra [5].

Quand on comprend l'être spirituel, on est en état de sacrifier à Shang-ti, de sacrifier aux ancêtres [6].

Quand on connaît le Yih-king, on sait comprendre la nature spirituelle. Aussi quand on n'a point entendu parler de la nature et de la loi du ciel, consolider les rites et régler la musique [7] est ce à quoi on pense le moins.

1 Il y a sans doute ici une allusion à la *samadht* des Bouddhistes.

2 Les productions et formations.

3 Le temps avec ses révolutions régulières est le symbole de toutes les transformations et opérations de la nature spirituelle.

4 Maintenir l'éclat intellectuel du vide, faire durer la vertu parfaite, c'est ainsi maintenir l'intellectuel et arriver à la perfection de la bonté. Pénétrer le cœur du temps et se conformer aux productions et transformations, c'est la perfection, l'accomplissement parfait des principes rationnels. (Commentaire.)

5 C'est là tout ce qu'il peut faire, connaître ces actes; les opérer appartient à la nature spirituelle.

6 Shang-ti est l'être spirituel suprême; les ancêtres dans l'autre monde sont devenus des esprits terrestres, *kvei*.

7 Les rites sont les règles des actions qui les rendent conformes à la loi du ciel. La musique, en donnant l'ordre et l'harmonie, contribue à cette fin. Telle est l'idée chinoise.

Digitized by Google

Si l'on est sans égoïsme on saura acquérir une droiture parfaite.

Si l'on affermit en soi la nature intellectuelle, on saura agir parfaitement à l'égard de tous les êtres et correspondre à leurs sollicitations [1].

Chapitre V. — *Du principe moteur.*

22. Quand il paraît des sages et des hommes de capacité (en ce monde), l'État prospère certainement. Quand les enfants et descendants sont vertueux et capables, la famille s'élève et prospère [2].

Chapitre VI. — *De la parfaite intelligence.*

Connaître vraiment et clairement, c'est savoir; c'est le mode de connaissance fondamental du ciel. Il ne connait pas simplement en partie après avoir vu et entendu (comme l'homme).

Unir la justice, l'équité et le décret céleste, c'est le propre du principe rationnel (*li*). Unir la bonté et la sagesse, c'est le propre de la sainteté. Unir le mouvement et le repos, est le propre de l'être spirituel. Unir le yin et le yang, c'est celui du tao (l'ordre rationnel). Unir la nature et la loi du ciel, appartient à la vérité [3].

La manière d'être du ciel qui subsiste et demeure sans aucune fin, constitue le vrai, le réel [4]. L'homme bon et vertueux, le fils pieux servant le ciel (comme cela doit être) se donne à lui-même droiture et vérité parfaites; il ne faillit jamais dans la pratique de la piété filiale et de la bonté; il ne l'abandonne jamais; c'est là tout son devoir. Aussi les sages mettent la droiture parfaite au-dessus de tout.

[1] C'est le terme de la perfection en ce point; satisfaire tous les êtres, leur faire suivre parfaitement la loi de leur nature.

[2] Ce court chapitre indique ce qui cause la prospérité du monde et des familles en particulier.

[3] La vérité consiste en la conformité de la nature particulière avec la loi du ciel. Lorsqu'il a en lui physiquement ou moralement cette conformité, l'être est ce qu'il doit être, il est vrai.

[4] Voir p. 25.

Digitized by Google

Cette droiture vient de la parfaite intelligence; par la perfection de la justice, on parfait sa nature. La droiture donne l'intelligence; en perfectionnant sa nature, on atteint une équité parfaite [1].

23. La nature est la source unique de toutes choses; elle n'admet pas les vues égoïstes. L'homme vraiment grand peut seul accomplir parfaitement la loi rationnelle. Aussi sa fermeté est inébranlable, sa science complète, sa bienveillance universelle. Ce qu'il sait faire n'est point fait pour lui seul.

Celui qui ne saurait que s'aveugler, s'arrêter et ne pourrait se conformer au principe rationnel [2], serait bien peu vertueux.

Celui qui sait pénétrer les créations du ciel au point d'en saisir la loi suprême, ne sera point embarrassé en ce qui concerne les parties obscures et claires de la substance des choses (*khi*). Si, en approfondissant le décret céleste, il pénètre jusqu'à sa nature, il ne se laissera pas égarer par les occurrences diverses et n'en souffrira point de préjudice [3]. Celui qui ne sait éviter ni ces égarements, ni ces funestes suites, n'a point l'instruction nécessaire.

La nature pénètre à l'extérieur du khi; le décret céleste opère au sein du khi. Toutefois le khi n'a proprement ni extérieur ni intérieur; en parlant ainsi on entend la substance douée d'une forme [4]. Aussi, pour arriver à une connaissance raisonnée de l'homme, on doit connaître le ciel. Quand on a perfectionné sa nature, alors on peut accomplir parfaitement son destin [5].

[1] Parfaire sa nature par la possession complète de la justice, c'est ce qu'on appelle se donner une parfaite rectitude par l'intelligence du bien. Acquérir la complète justice en perfectionnant sa nature, c'est acquérir, par l'étude, la connaissance de l'ordre rationnel.

[2] Qui ne saurait que comprimer ses désirs et nullement faire des actes vertueux.

[3] Celui qui comprend la loi des actes, des créations du ciel, comprendra également la nature des objets créés; ils n'auront pas de mystère pour lui. Celui qui pénètre jusqu'à la source des décrets célestes et en comprend les causes, sait que les événements divers en sont les produits et comprend que tout n'est pas malheur dans les événements désagréables.

[4] Le mot khi est pris dans plusieurs acceptions : tantôt c'est la substance universelle d'où tout provient, tantôt c'est la substance matérielle seule.

On remarquera ici ce mélange de systèmes qui confond la notion ancienne du ciel et du décret céleste avec les conceptions nouvelles du khi, du li, du tao, etc.

[5] L'essentiel du destin est le perfectionnement de l'individu. Chacun doit faire atteindre à sa propre nature toute la perfection dont elle est susceptible et qui lui est destinée par le ciel.

Digitized by Google

24. L'*un* parfaitement pur est le principe du khi. La rencontre et l'union des éléments constituent sa tendance [1]. Le boire et le manger par la bouche et l'estomac, l'odorat et le goût par le nez et la langue, ont cette même nature. L'homme vraiment vertueux se contente d'y toucher mais ne laisse point son cœur s'adonner à ses désirs. Il ne permet pas que les choses importantes soient détruites par les petites, et que l'accessoire nuise au principal.

Le cœur peut perfectionner la nature. L'homme peut faire triompher en lui l'ordre rationnel (*tao*). Mais la nature ne peut donner le recueillement au cœur et le régler; l'ordre rationnel, la loi, ne peut faire triompher l'homme (sans les actes de la vertu).

Si l'on sait porter sa nature à la perfection, on saura parfaire celle des autres et de tous les êtres. Celui qui sait atteindre toute sa destinée saura le faire faire aux autres également.

Il n'y a rien dans la loi rationnelle suprême (*tao*) qui ne soit la nature [2]. Le destin est tout entier dans le ciel [3].

Notre action sur les êtres pour les perfectionner [4] ne doit jamais être interrompue. Que l'action des êtres sur nous ne le soit jamais, c'est ce que personne n'ignore : si l'on suit son destin [5] on saura acquérir les vertus nécessaires, former les autres et ne point manquer à son devoir.

Dès que les êtres pourvus de forme se produisirent, la nature des corps particuliers se forma également [6]. Le principe du bien les ayant reformés [7], la nature du ciel et de la terre fut constituée. Aussi les sages ne considèrent pas la nature des corps comme *la nature* [8] en elle-même. La vertu qui ne

[1] Le khi est une réunion d'éléments formant un tout unique et tendant à s'harmoniser; de même que les sens tendent à jouir.

[2] La nature prise dans son sens le plus étendu comprend tout, intellectuel et matériel.

[3] Le décret céleste qui constitue les êtres et leurs vicissitudes n'a d'autre principe causal que le ciel.

[4] Le devoir de l'homme est de faire atteindre à l'univers la perfection dont il est susceptible; il le peut par l'influence de sa vertu.

[5] L'homme a pour destinée céleste de perfectionner lui et les autres êtres.

[6] Un être ne naît point sans sa nature; dès qu'il paraît, sa nature l'accompagne.

[7] Formés par une seconde action. A cette nature brute le principe du bien donna sa bonté.

[8] La nature absolue est le principe intellectuel qui régit tout, l'ordre rationnel et le principe d'action, intellectuel et moral.

Digitized by Google

triomphe pas du sensible laisse dépendantes de lui et la nature et la destinée céleste [1]. Si elle en triomphe, alors la nature et le destin sont soumis à la vertu [2].

Lorsque l'on porte à leur perfection les principes rationnels et sa propre nature, alors cette nature est celle du ciel même (lui devient identique) et le destin est le principe rationnel du ciel.

25. Quand on a su écarter de soi le mal, le bien alors sait perfectionner la nature. Si l'on ne parvient pas à se débarrasser complètement du mal, quoique bon au fond, on restera grossier et inintelligent.

Il n'est rien sans le ciel. Si la nature lumineuse du yang l'emporte, alors c'est la nature vertueuse qui produit les actes. Si la nature obscure et trouble du yin triomphe, c'est le désir des choses extérieures qui prévaut et opère.

Corriger le mal et compléter le bien, c'est l'œuvre de l'instruction.

Commentaire. — Si l'on sait maintenir en rectitude la pensée et les préoccupations, alors seulement on pourra savoir si dans le vide et le silence du cœur il y a pureté et lumière (ou souillure et ténèbres) produite par le désir des objets sensibles, car ceci est le triomphe de l'impureté du yin. Ye tzai dit : corriger ce qui est mauvais et rendre complètes, permanentes, les bonnes qualités, est enseigné par le Liki. Ce que l'on doit faire, c'est faire régner la justice et aimer le bien.

26. Si l'on est, par nature, juste, droit et fidèle aux bons principes, le bien et le mal seront l'un et l'autre bien réglés.

Si l'on n'a point rendu sa nature droite et juste et que l'on obtienne la prospérité par de mauvais moyens, on ne pourra plus éviter les malheurs.

[1] Dominée par lui, la nature ne peut se parfaire, ni le destin atteindre son terme.

[2] On est alors dominé par la vertu. La nature peut alors réunir en elle toute la vertu du ciel et le destin peut suivre complètement la loi du ciel.

Digitized by Google

Partie II. — Morale.

Chapitre VII. — *De l'élévation du cœur.*

Celui qui sait élever son cœur pourra reformer toutes les choses de ce monde [1]. Si ces choses ne sont pas encore bien réglées [2], c'est que le cœur est répandu à l'extérieur.

Les gens du monde ont le cœur enserré dans ce qu'ils entendent et voient.

Les saints portent leur nature à sa perfection et ne laissent pas leur cœur enchaîné (par ses désirs). Il n'est rien ici-bas qu'ils ne considèrent comme eux-mêmes (mais ils aiment tout comme eux). Meng-tze dit : Si l'on perfectionne son cœur, on connaitra la nature, on connaitra le ciel, par cela même [3].

La grandeur du ciel comprend tout, rien ne lui est extérieur. Si donc le cœur est hors de lui-même (par ses affections) il ne sait point être en harmonie avec le cœur du ciel [4].

Commentaire. — Le cœur doit reformer toutes choses. C'est l'œuvre de la bonté qui doit être en tout et partout. Le principe rationnel et directeur du cœur doit être comme les veines du corps et pénétrer partout. S'il est quelque chose qu'il soit incapable de former, c'est qu'il est au-dessous de sa tâche, qu'il ne sait pas contenir et régir comme il le doit.

Le cœur est au dehors quand il cède à l'attraction des choses extérieures. Bien qu'en lui-même, il est, comme à l'extérieur, dans les choses qui sont devant lui et lui plaisent.

[1] Maxime confucéenne. L'exemple des vertus améliore nécessairement le monde moral et matériel.

[2] Si elles peuvent encore entraîner le cœur.

[3] Quand le cœur est parfait, alors on voit ce qu'il doit être, ce qu'est la nature, car il n'y a plus rien d'étranger en lui qui voile le fond de ce cœur, plus de poussière, plus de rides formées par le vent des passions.

[4] Rapportant tout au ciel, l'auteur doit user d'un sophisme. Le cœur doit être moralement ce que le ciel est par substance.

Digitized by Google

28. L'ouïe et la vue, bien que provenant directement de la nature, reçoivent les éléments nécessaires à leurs perceptions tant de l'extérieur que de l'intérieur.

Former les choses extérieures [1] (leur donner leurs capacités et facultés) et se former soi-même, c'est le fondement de la morale. Que la substance réalise en soi cette loi, c'est ce qu'il y a de plus élevé pour l'homme. Que les principes fassent faire siennes toutes choses [2], c'est bien grand! Être incapable de le faire et être tout à soi-même, c'est bas et vil.

La doctrine de Bouddha, ne connaissant pas le décret céleste, ne peut favoriser ou arrêter l'action du ciel et de la terre (faire prospérer ou nuire) suivant la loi du cœur, ni conclure du petit au grand, de la fin au principe [3]. Ne pouvant y arriver, elle prend l'erreur pour la vérité et croit voir l'erreur où elle n'est pas [4].

Chapitre VIII. — *Du milieu juste et immuable.*

29. Ce qu'on peut légitimement désirer est « le bien ». Quand l'intention est conforme aux principes de la bonté, elle n'a rien de mauvais.

Le bien complet dans le cœur est « la sincère droiture ». Quand elle occupe tout l'intérieur et forme l'extérieur, elle est « le beau ».

Ce qui occupe l'espace du ciel à la terre est « le grand ». La perfection de la grandeur dans la nature [5] est « la sainteté ».

[1] Même principe que tantôt.

[2] Qu'on traite tous les êtres avec affection, comme soi-même.

[3] Le destin n'est pas le fatum immuable, mais la part de bien que le ciel accorde à chacun et que l'homme peut perdre, diminuer ou augmenter selon ses actes. La terre seconde l'action du ciel. Celui qui ignore ce destin ne peut penser à favoriser ou arrêter l'action de ces deux grands principes, il ne peut les atteindre par la pensée et ainsi conclure de lui-même (le petit) à ces êtres supérieurs (au grand), ni de ce qu'ils ont produit (la fin) à leur nature (le principe).

[4] Littéralement : soupçonne la glace (en été) comme le ver qui prend l'eau pour la glace par ignorance. (Commentaire.)

[5] Non point la nature matérielle comme on l'entend aujourd'hui parmi nous, mais la nature des êtres.

Digitized by Google

Ce qui, dans le ciel et la terre, se répand comme le yin et le yang et ne peut être sondé [1], est « le spirituel », le « suprasensible ».

Celui qui sait que la vertu atteint sa perfection par le Milieu parfait, a la vraie science, la science suprême.

Celui qui s'applique à garder le Milieu constant l'obtiendra sûrement et le portera à son point le plus élevé.

Ce n'est qu'en étudiant comme il le faut que l'on sait faire les efforts nécessaires à son perfectionnement. Alors seulement on progresse successivement sans jamais s'arrêter en route.

30. Si le principe suprême atteint (en quelqu'un) tout son développement [2], on pourra arriver au Milieu constant. Si l'on sait s'y tenir, alors la vraie grandeur sera acquise et assurée. L'absence complète de mélange [3] est la perfection de la pureté. Là où tout ce qui est différent (de la nature essentielle) a disparu, règne la parfaite harmonie. La pureté acquise par des efforts n'est point celle des saints [4]. L'union, l'harmonie obtenue par effort ne l'est pas davantage. Les saints ont ces vertus sans effort, sans les chercher ni y penser. Celui qui n'estime pas la vertu, bien qu'il se soit instruit, ne suivra pas les principes moraux et rationnels.

Celui qui ne sait point atteindre à la générosité et à la grandeur (d'âme) ne pourra maintenir ses sentiments intimes dans la ferme droiture. Si l'on n'a le cœur parfaitement éclairé et élevé, bien qu'on veuille atteindre et garder le Milieu constant, au temps de lui faire produire ses effets, on y manquera complètement.

31. Agir quand on ne peut pas s'en abstenir, s'arrêter quand il ne convient pas d'agir, c'est « la sagesse ».

La pensée réfléchie, la détermination prise avec prudende, la fermeté

1 L'esprit ne peut l'atteindre non plus que les sens.

2 Quand ce principe de toute vertu domine en quelqu'un, qu'on agisse constamment selon ses lois. On a le milieu quand le cœur est sans agitation de désirs ou de passion.

3 La pureté parfaite d'un élément consiste en ce qu'il n'est mêlé à aucun autre; de même le cœur pur bannit ou exclut tout ce qui n'est pas de sa nature parfaite, tout ce qui est différent et extérieur.

4 Les saints sont saints parce que leur nature est parfaite; ils ont par nature toute science et toute vertu. La vertu acquise est celle des sages.

Digitized by Google

qui ne change pas, ces quatre choses isolées [1] ne sont pas même semblables au ciel et à la terre.

Quand l'esprit est appliqué à l'étude, on peut, au moyen de celle-ci, suivre la voie de la vertu. Quand on est zélé à observer les rites [2], on peut, par leur moyen, rester ferme dans la vertu.

Si l'on ne se laisse pas entraîner par les passions, on sait être maître de soi et digne dans ses manières.

Vouloir compléter en soi les notions d'équité et ne point les suivre; vouloir rendre claires et brillantes les lois morales et ne point s'y conformer; faire des efforts uniquement là où l'on retire des avantages, c'est une conduite que je ne puis reconnaître comme sage.

Les hommes élevés et sages, en ce bas monde, scrutent le bien et le mal, n'apportant en rien des sentiments égoïstes et suivant les principes d'équité, jouissent par là d'un bonheur parfait. S'il en est qui n'observent pas ces lois, ils les corrigent, et en faisant cela ils considèrent les défauts des autres comme s'ils étaient leurs, et ils n'omettent point de se scruter (et corriger) eux-mêmes. Complétement heureux, ils communiquent aux autres le bien qui est en eux. Comprendre et savoir faire ou éviter ce qui est bon ou mauvais pour le monde, c'est ce qu'on appelle pénétrer le bien et le mal.

Celui qui est exercé aux choses anciennes connaît facilement les nouvelles, dit-on. En rappelant les anciennes maximes, les bonnes actions faites antérieurement, on développe les vertus; en méditant les doctrines des anciens, on comprend mieux les enseignements du jour. En pensant à ce qui n'a pas réussi jadis, on réussit soi-même; en observant ce qui a été vu et entendu autrefois, on sait régler l'avenir. Toutes ces maximes sont d'une parfaite justesse. Celui qui sait se condamner lui-même apprend facilement que tout dans le monde, l'empire et la famille, n'est pas contraire au bien. L'enseignement qui parvient à préserver l'homme de tout regret et repentir est l'enseignement parfait.

1 D'après le mandchou. Elles doivent être réunies pour égaler l'action des deux principes.
2 Les règles de conduite. Si on les observe, on restera ferme.

Digitized by Google

33. Les gens d'étude ont quatre défauts : pour les autres ils sont souvent prodigues ou commettent beaucoup de fautes.

Aimant la grandeur, ils pèchent contre la modération. Irréfléchis, ils agissent à la légère. S'ils rencontrent des difficultés, ils se laissent arrêter.

S'ils abandonnent les règles et les principes de morale; s'ils se livrent tout le long du jour au boire et au manger sans autre souci, ils sont en tout semblables au bas peuple. Toute leur affaire est de s'habiller et de manger; ils ne cherchent rien au delà des plaisirs de l'oisiveté et de la bonne chère.

Les lettrés visent à remplir complètement leurs devoirs; suivre ainsi sa nature peut s'appeler « la loi rationnelle » *tao*. La doctrine de Bouddha ignore ce principe et dit que l'égoïsme est la nature; aussi l'on ne peut pratiquer ces préceptes.

Chapitre IX. — *De la vertu.*

34. Ce qui est parfaitement conforme aux principes d'équité et de convenance, est la vertu. Tout ce qui seconde et favorise, est le bonheur. La vertu est le bonheur suprême; le bonheur est l'effet suprême de la vertu, on ne l'obtient pas sans pratiquer les vertus. Aussi les sages estiment que suivre la voie de la vertu est la joie parfaite.

S'affermir dans la vertu et ne rien attendre des autres pour cela; ne point désirer les biens extérieurs, c'est la perfection.

L'homme vraiment bon favorise tous les êtres, n'en néglige aucun; il les aime tous et ne nuit à aucun. C'est la règle et la conduite du ciel.

Le ciel entretient tous les êtres avec une parfaite droiture. Mis à sa place, le sage gouvernant tout, travaille à la perfection de tous les êtres, sincèrement et sans nuire à quoi que ce soit; celui-là remplit parfaitement son devoir.

35. Quand la volonté est généreuse, les facultés sont grandes, le zèle l'est également; l'homme alors peut être grand aussi; il est vraiment riche. Si la volonté est persévérante, tout l'être l'est également, la nature et la vertu ne le sont pas moins. C'est la vraie persévérance, et, de la sorte, la vertu prend chaque jour de nouvelles forces.

Digitized by Google

Lorsque, dans l'or fondu, une pierre est enchâssée, elle n'en sort plus. Lorsque la connaissance des choses est complète en tout et partout et bien affermie, elle ne se perd plus. L'observation des principes qui sait être persévérante devient parfaite; elle pourra toujours alors imiter le ciel et la terre et ne jamais y manquer.

Tout ce qui ne les imite pas viole la loi de raison et de justice et en est bien loin.

Quand on est bien disposé et prudent, on sait triompher des obstacles. Quand on a saisi la nature des vrais principes, on pénètre la loi de ce monde et l'on sait donner la joie à son cœur. Sachant triompher des difficultés, on sait aussi apprécier tous les sujets de préoccupation. Sachant apprécier les secrets (des événements), on sait se plier et se redresser à propos.

36. Les gens qui veulent réussir en leurs actes ne doivent point négliger les petites choses. Ceux qui veulent avancer dans la vertu doivent suivre les principes d'équité et purifier leur intérieur. Ainsi les sages, tout en se trouvant dans les difficultés et le danger, observent avec soin les lois de la vertu et de la justice et ne se négligent en rien dans ce que demandent les circonstances.

37. C'est l'existence des biens et des maux [1], du bonheur et des revers, qui force les hommes aux mesures de prudence, aux calculs et à l'activité. S'il n'y avait rien qui contrariât les désirs, pourquoi devrait-on être actif et appliqué?

En ce monde que de préoccupations et de soucis! Si l'on fait ce que l'on ne doit pas faire on aura bien des désagréments.

Si l'on sait complètement tout cela, mais qu'on ne l'incarne pas en soi par l'observation des règles de conduite, cette science ne fera pas comme partie de notre être [2].

Mais si, par la connaissance des rites, on parfait sa nature, la vertu, la sagesse en sortiront; de même que, le ciel et la terre étant constitués, le Yih [3] se produisit.

[1] Utilité des maux et des difficultés.

[2] La science des principes doit en venir à faire comme partie du cœur humain, inspirer et diriger ses actes.

[3] Mandchou : le *Yih-king*. Peut-être : les diverses productions et transformations

Digitized by Google

Chapitre X. — *Exemples des diverses vertus.*

38. Celui qui savait considérer les intérêts de tous et s'oublier soi-même, c'était Yao.

Celui qui savait faire faire le bien à tous, c'était Shun. Celui qui demandait de bons conseils et remerciait, en lui donnant des marques d'honneurs, celui qui les lui avait donnés, c'était Yu.

Le prince capable d'employer convenablement les hommes et de les traiter comme soi-même, comme de corriger les fautes, c'était Tang. Satisfaire les désirs avant d'en avoir entendu l'expression, accourir avant d'avoir été appelé [1], c'était la vertu de Wen-Wang.

Chapitre XI. — *La vertu parfaite.*

39. Être à 30 ans parfaitement au courant des rites, ne peut encore suffire pour qu'on se dise solidement affermi (dans la vertu).

Posséder à 40 ans les principes de justice et savoir les mettre en pratique, se conformer au temps sans y mettre d'hésitation; avoir à 50 ans épuisé tous les principes de justice [2], avoir parfait sa nature et atteint tout son destin céleste, cela peut s'appeler être parvenu au point suprême, être sage.

Lorsqu'à 60 ans on a porté à sa perfection la nature des hommes et des choses [3], toutes les voix entrant dans le cœur le pénètrent [4].

A 70 ans on doit avoir acquis une vertu égale à celle du ciel et pouvoir, sans réflexion, sans effort, suivre la voie du Milieu et de la noble gravité.

40. Celui qui, dans la détresse même, ne sait pas se corriger, est le dernier des hommes. Celui qui n'attend pas l'infortune pour devenir meilleur, a une sagesse solide.

[1] Par son père ou le souverain. On connait tous ces noms. Yao et Shun, les deux premiers empereurs du Shouh-king; Yu, Tang et Wen-Wang, les fondateurs des trois premières dynasties.

[2] Les connaître tous et les pratiquer.

[3] Voir plus haut. Par l'exemple de sa vertu on a rendu bons tous les êtres.

[4] C'est une perfection de la sagesse de comprendre toutes les voix, tous les bruits.

Digitized by Google

Savoir, dans l'infortune même, faire du bien aux hommes, c'est avoir une vertu éclatante, un cœur sensible.

C'est en ce sens que Meng-tze disait : la vertu éclairée et solide comme la sagesse s'affermit dans l'infortune et le malheur.

Il y a longtemps que les gens qui ont le cœur affligé ne sont plus semblables à Shun, ou que ceux qui éprouvent des contradictions à l'extérieur ne ressemblent plus à Kong-tze. Kong-tze était saint, c'est pourquoi il s'instruisit dans le malheur; supportant les afflictions, il sut tenir son cœur droit et ferme.

La vertu des saints grandit chaque jour, les hommes ne savent point arriver à la comprendre, le ciel seul la connaît.

Aussi Kong-tze disait : Les hommes ne me connaissent point; qui me connaît? le ciel seul.

41. Au temps où Yen-Yuen étudiait chez son maître, il s'appliquait à la vertu, à l'école de Kong-tze. Meng-tze fut destiné à son siècle par le ciel; au temps dit Tchen-koue, il rétablit les vrais principes, et c'est par lui que la vie privée et la vie publique eurent leurs règles particulières assurées. (Le texte a des variantes que nous ne mentionnerons point.)

Chapitre XII. — *De la vraie vertu.*

42. C'est par une conduite réglée et des paroles conformes aux principes que l'on doit former l'homme. Le soin principal ne doit point être de le diriger en le poussant par de grands efforts et l'appliquant aux choses extérieures. Aussi s'en aller enseigner et chercher à satisfaire, à plaire d'une manière répréhensible ou fausse, est le grand vice de l'éducation.

C'est par la parole que se donne l'enseignement. Les mouvements ont leur règle, leur modèle. Pendant le jour on travaille; la nuit on en recueille les fruits. Dans le repos on les entretient; dans l'activité et la vigilance on les maintient.

La peine et l'humiliation ne sont point des maux, on ne doit point s'en affliger, mais seulement de se les être attirés (par des fautes). La grandeur et le gain ne doivent point donner de la joie, on ne doit en avoir que de savoir les oublier.

Digitized by Google

Chapitre XIII. — *Ta Yih-king.*

43. Le Yih-king ne parle pas d'être et de non-être [1]; cette distinction est une œuvre inintelligente de nos docteurs vulgaires.

Le Yih-king n'a eu en vue que les gens élevés et sages et nullement les hommes vulgaires. Dans ses kouas il expose et développe uniquement les vertus, et bien que dans ses lignes il y ait du grand et du petit [2], dans l'exposé de la signification de ces lignes, ce qu'il explique ce sont exclusivement les principes moraux des hommes supérieurs.

Un seul être ayant deux formes substantielles, c'est le principe suprême.

Le yin et le yang constituent la loi du ciel et donnent leurs formes à toutes choses.

La correspondance du fort et du faible [3], de l'actif et du réceptif, constitue la loi de la terre qui imite la loi supérieure.

La bonté et la justice sont les lois de l'homme et donnent à la nature sa stabilité.

Si l'on réduit ces vertus et puissances à deux, on a la loi du *k'ien* et du *k'ven;* tout est là.

Lorsque la base du yin et du yang, de l'actif et du réceptif, de la bonté et de l'équité, est fermement établie, alors on sait observer le temps et se conformer à ses vicissitudes. Si alors le *k'ien* et le *k'ven* se perdent [4] 毀, c'est que l'on n'a point su comprendre le Yih-king.

Les six lignes des kouas changent, se meuvent; elles accomplissent tour à tour leur fonction [5]. Elles suivent le principe rationnel qui forme et régit le yin et le yang, l'actif et le réceptif, la bonté et la justice, la nature et le destin.

[1] Ceci est dirigé contre Lao-tze. (Voir *Tao-teh-king,* § 1.)

[2] Les lignes y sont longues ou courtes; il traite de ce qui est grand et petit.

[3] Le fort et le faible sont pour la terre ce que le yang et le yin sont pour le ciel. Le *k'ien* et le *k'ven* sont les puissances du yang et du yin.

[4] Si on ne les voit, ne les comprend plus; car le Yih enseigne à les maintenir.

[5] Dans les différents kouas du Yih. Le principe rationnel fait que toute chose est ce qu'elle doit être.

Digitized by Google

C'est pourquoi le mouvement d'évolution des six lignes est appelé la loi des trois principes [1].

Le yang formant tous les yin, les yin servant le seul yang, c'est l'ordre des choses.

44. Si deux princes n'ont qu'un seul peuple commun, si un seul peuple sert deux princes, grands et petits ne seront plus que gens vulgaires [2].

Mais que deux peuples servent un seul prince, qu'un seul prince gouverne deux peuples, c'est la règle des hommes supérieurs, pour tous, grands et petits.

Le bon prince qui fait briller la justice, écarte les dangers et rejette les gens négligents. Si, depuis le commencement jusqu'à la fin, il est craintif et prudent, en ce qu'il recherche (en ce qui est essentiel), il n'aura ni échec, ni défaut.

45. Ceux qui portent la conduite vertueuse jusqu'à la rendre comme surnaturelle (égaler les esprits) sont en repos et sans agitation, ni préoccupation. Entraînés intérieurement dans toutes les transformations vertueuses [3], ils ne s'aperçoivent pas qu'ils les opèrent.

Chargés d'exécuter un ordre, ils sont comme un écho et s'en acquittent avec fidélité [4]. Examinant avec le plus grand soin ce qui concerne les esprits, leurs volontés, ils sont en état d'aider les intelligences suprasensibles.

46. Découvrant ainsi les secrets des choses, ils peuvent prévoir l'avenir; ils savent dissiper les peines, en tarir la source et, ainsi, conserver ce qui est accompli. Connaissant à fond les nombres, ils savent prévoir l'avenir [5]. Prévoyant les changements de fortune, ils ont des règles sûres pour les pénétrer et comprendre [6].

[1] Ces trois principes sont le ciel, la terre et l'homme; le yin et le yang se rapportent au premier, l'actif et le réceptif à la seconde, et les vertus de bonté, de justice, au troisième.

[2] Ainsi le yin divisé doit obéir au yang unique. La nature du yin est, d'ailleurs, de se plier et soumettre.

[3] Tous les perfectionnements intérieurs, qui s'opèrent chez eux spontanément et sans effort.

[4] Littéralement : boire en retour, répondre à un bienfait.

[5] Les nombres constituent l'essence des choses telle qu'elle est, comme on le verra dans le Kvân-wuh, p. II. Celui qui, par eux, pénètre l'essence des êtres, sait ce qu'ils produiront et peut ainsi prévoir l'avenir.

[6] Les changements de fortune proviennent des actes, et ceux-ci des qualités des hommes, de leurs dispositions. Ainsi les saints, connaissant les cœurs, peuvent connaître d'avance les actes qu'ils feront et leurs conséquences.

Digitized by Google

Les hommes supérieurs, dans leur action régulatrice du peuple, vont loin (font de grandes choses).

Le principe actif (*k'ien*) est extrêmement simple et sans forme visible; son mouvement est prompt et rapide, aussi le connaît-on facilement.

Le principe réceptif (*k'ven*) est pliable et soumis, sans trouble; sa diffusion est égale et réglée; c'est pourquoi son action est régulière et modérée.

47. La valeur des actes de production et transformation [1] provient de l'impulsion donnée; elle s'étend et pénètre par la réceptivité et la ductilité des objets; elle apparaît dans leurs manifestations lumineuses; elle s'entretient par les objets qu'elle embrasse et reçoit en soi; elle s'harmonise par ce qui lui donne le plaisir et la sève; elle triomphe par ce qui la fortifie; elle ne s'épuise pas par les efforts; son terme, comme son commencement, est stable.

La force, le mouvement, la puissance qui abat et la stabilité sont les propriétés du principe fort, actif; se plier, céder, s'appuyer sur un autre, pénétrer, réjouir sont celles du faible, du réceptif.

Tomber, s'enfoncer dans le gouffre (se noyer) et ne pouvoir en sortir, c'est ce qu'exprime le koua *k'en*, 坎 [2]. Être saisi en s'appuyant sur quelque chose et ne pouvoir se détacher, échapper, c'est le sens du koua *li* [3], 離.

Chapitre XIV. — *Perfection de la Nature.*

48. La vérité suprême est la nature du ciel. Ce qui est sans fin ni terme, c'est le décret céleste.

Si l'homme peut être parfaitement vrai et droit, il parfait sa nature et peut aller jusqu'au plus haut point de l'intellectuel (l'épuiser).

[1] Les philosophes de cette école conçoivent la production des êtres plutôt comme une modification de la substance universelle que comme une production proprement dite; de là l'usage constant du mot *hvá* pour désigner une production réelle.

Tout ceci indique la nature de la puissance, du principe dit yang et ses rapports avec le yin.

[2] *K'en* est au 29e koua ; ce mot signifie trou, précipice ; comme trigramme il figure l'eau. *Li* est le 30e koua, dont un des sens est : être attaché à, pris dans. On ne voit pas très bien quel est leur rôle en cet endroit, à moins qu'ils ne représentent le principe réceptif.

[3] Cp. *Tong-shuh.*

Digitized by Google

Quand le destin céleste s'accomplit sans interruption, alors la force céleste de production et de transformation se manifeste, on peut la connaître clairement [1].

La doctrine qui n'arrive point à faire connaître cette force n'est point dans le vrai. (Com. Sans khi peut-il y avoir des formes? Sans forme y aurait-il pensée?)

Le ciel contenant en lui toutes choses et produisant le mouvement créateur est la nature [2]; (quand il met en mouvement, il engendre).

La nature est contenue dans ces deux principes : l'actif et le réceptif, le yin et le yang. Il n'y a rien en ces principes qui leur soit extérieur ou intérieur et qui serve à les concilier (il n'y a rien en dehors [3]) entre eux. Il n'y a en eux ni œil ni oreille qui perçoive ou entraîne (ou : rien qui saisisse et guide des oreilles ou des yeux). Tout y est différent des éléments de l'homme et des choses.

Si l'homme sait parfaire sa nature, connaître le ciel et ne point se préoccuper des choses indignes de lui, il sera bien près de sa perfection, il s'élèvera et pénètrera les mystères.

La nature du ciel se compose des deux principes actif et réceptif, du yin et du yang. Ayant deux éléments, il peut être mis en mouvement; son unité fondamentale fait que ces deux éléments s'harmonisent [4].

Ce dont usent le ciel et la terre en créant les êtres n'est pas absolument uniforme. Ce qui ne sert pas (à tel moment) n'est point mis par eux en action (ainsi il y a des différences). La nature, c'est le mode rationnel d'action suivi par le ciel.

[1] Quand l'action du ciel n'est pas entravée, alors elle se manifeste partout et on la connaît facilement; si elle est arrêtée, alors on ne sait plus si ce qui arrive provient de cette action ou d'un autre principe.

[2] Cette définition de la nature diffère assez de celles que nous donnent d'autres traités; du reste, nos philosophes savent varier d'expression et de conception sans paraître s'en apercevoir.

[3] Ou : il n'y a pas en eux des principes différents; tout y est un. Il n'y a point des sens, une intelligence qui perçoivent des êtres extérieurs à eux-mêmes.

[4] Sans dualité point de mouvement; l'être unique, perpétuellement le même, ne se meut pas; sans principe d'unité, point de conciliation, d'harmonie.

Digitized by Google

49. La réalité du vide suprême est pleine, mais point immuable [1]. Le mouvement issu du repos suprême a une force qui ne s'épuise jamais. La nature atteint son point extrême, son principe suprême, dans le non-être. Le khi est sa substance une et simple.

Le décret céleste est identique à la nature ; le hasard est ce qui arrive tellement-quellement (et non par l'effet d'une volonté intelligente).

Des actes identiques, mais de résultats différents, bien qu'on les attribue au décret céleste, sont bien plutôt du hasard [2].

Chapitre XV. — *Bouddhisme.*

50. La doctrine de Bouddha, voulant expliquer la nature des esprits des morts, dit que l'être intelligent qui meurt, renaît plusieurs fois successivement.

Mais cet être souffrant, misérable, cherchant toujours à échapper (aux maux de la vie), est-ce bien là un esprit [3]? Peut-on dire qu'on comprend son état? Quand on se trompe complètement quant à l'origine de l'homme, peut-on penser connaître l'être humain? L'homme et le ciel ayant une même substance [4], si on les distingue et sépare par la naissance, osera-t-on dire qu'on connaît le ciel? Ce que Kong-tze appelle ciel, Meng-tze l'appelle loi rationnelle, principe rationnel.

[1] Le vide, comme on l'a vu, n'est que l'état de la substance universelle lorsqu'elle est encore à l'état infinitésimal, invisible. Ainsi le vide, en réalité, est plein de la substance, mais cet état de vide ne dure pas. Le non-être est ici synonyme de vide et ne veut pas dire « néant ». L'être est au commencement en un repos absolu, il en sort pour produire.

[2] Car le principe rationnel doit être toujours semblable à lui-même. Le décret céleste est identique à la nature, selon le principe initial du Tchong-Yong ; car il donne la nature à chaque être ; en outre, dans le système du Sing-li, le décret céleste disparaît comme acte d'une volonté personnelle. *Ming*, que l'on rend par « destin » ou « décret céleste » signifie proprement un ordre donné, un édit, une annonce.

[3] *Kvei*, l'esprit de l'homme qui reste après la mort du corps, condamné à repasser par des existences misérables, cela n'est point un esprit, car la condition de celui-ci doit être supérieure à celle de l'homme. Le bouddhisme n'a donc point la vraie notion ni des esprits, ni de la nature de l'homme.

[4] Tous deux sont du khi formé par leur principe rationnel particulier ; leur origine est donc identique.

Digitized by Google

Les gens égarés par l'erreur [1], voulant désigner le sort des esprits des morts, en font une évolution circulaire; c'est vraiment dépourvu de raison.

Dans les études supérieures, on doit d'abord apprendre à connaître la vertu du ciel; quand on la connaît bien, on connaît également ce que sont les saints, on connaît les esprits célestes et terrestres [2].

Le principe suprême de la loi de Bouddha et sa conséquence nécessaire, était que la vie et la mort se succèdent alternativement. Si l'on ne saisit pas la loi rationnelle des êtres, on ne saurait échapper à cette doctrine. Peut-on dire cependant qu'elle comprend la loi des êtres? Non, sans doute [3].

51. Depuis que cette doctrine s'est répandue dans l'empire du Milieu, les lettrés, avant d'avoir vu et examiné l'école des saints, même sa porte, se laissent conduire et entraîner, s'enfoncent dans cette doctrine et la désignent comme la Grande-Voie; ses enseignements pénètrent le monde. Aussi, bons et méchants, sages et grossiers, hommes et femmes, serviteurs et servantes, tous se laissent entraîner à y avoir pleine confiance. S'il naît alors quelqu'un d'une nature vertueuse et plein de talent, mais porté à la négligence, à la paresse, ces doctrines s'infiltrent d'abord dans ses yeux et ses oreilles et pénètrent en eux de manière à gouverner ses actes extérieurs. Grandi, il suit ces enseignements pratiqués, estimés par des lettrés du temps, s'y précipite sans intelligence des choses et ainsi, sans se former à la vertu, il arrive au rang des saints (aux yeux de ses pareils).

On croit pouvoir, sans rien apprendre, connaître la doctrine supérieure des lettrés [4].

[1] Les Bouddhistes et ceux qui, à leur exemple, admettent la métempsychose. Il y en avait parmi les Taoïstes; par exemple, Lih-tze.

[2] Car tous participent à la nature du ciel. Ceci ne concorde pas avec les nouveaux principes du Sing-li; c'est un reste d'influence des doctrines antérieures.

[3] Le commentaire impérial ajoute : celui qui en a l'intelligence sait qu'il y a un principe producteur et un décret céleste; il met sur le même pied la vie et la mort, il unifie le ciel et l'homme (quant à la substance). Connaissant la lumière et les ténèbres, pénétrant le yin et le yang, il ne leur attribue pas deux substances différentes.

[4] Cette nature paresseuse fait qu'il se porte vers cette doctrine facile qui fait acquérir une prétendue vertu sans effort. Ceci ne semble guère conforme à la nature du bouddhisme, dont les observances sont strictes et sévères. Il est vrai que pour les laïcs et le vulgaire la morale bouddhique n'avait que des préceptes larges et peu nombreux.

Digitized by Google

Aussi les devoirs des hommes restent ignorés; toutes les vérités sont obscurcies; le gouvernement est négligé, la vertu troublée. Une doctrine perverse [1] remplit les oreilles. En haut, on est sans règle pour distinguer ses erreurs. En bas, on manque de l'intelligence nécessaire pour comprendre ses fourberies.

Depuis longtemps des enseignements pervers, corrupteurs, se propagent ouvertement, provenant de l'école de Bouddha, d'où elles sont sorties il y a quinze cents ans [2].

Si l'on n'est pas capable, seul, de se tenir ferme, sans pusillanimité, droit, intègre, ayant foi en soi, surpassant en vertu le commun des hommes, comment pourra-t-on, dans ces conjonctures, rester inébranlable en sa justice, distinguer le vrai et le faux, apprécier justement ce qui est avantageux et nuisible?

52. Bouddha, parlant de la vérité, dit : Ceux qui connaissent la loi des êtres appellent la vérité : la vertu du ciel. Mais tout en affirmant ce principe vrai, il soutient que la naissance, la vie de l'homme, sont une pure illusion, que tout acte est mauvais et vil, que le monde n'est qu'impureté et égarement. Ce sont des erreurs détestables qu'il faut abandonner et détruire. Puisse-t-on y arriver jamais! Car ces gens haïssent la vérité, l'évidence.

Les lettrés concluent de l'évidence à la vérité, et par la vérité arrivent à l'intelligence [3].

Ainsi, quand le ciel et l'homme sont unis, ce dernier peut arriver à une doctrine parfaite, à la sainteté.

S'occupant du ciel, on ne doit point négliger l'homme. C'est là ce que le Yih-king enseigne de ne point négliger ni omettre.

Cette maxime parait vraie, mais si l'on examine son fondement et ses

[1] On trouvera les mêmes récriminations contre le bouddhisme dans le XIII[e] livre du Tchou-tze tsieh Yao, la Siao-Hio et d'autres ouvrages de cette période. Nous abrégeons le texte.

[2] On rapportait donc alors en Chine l'époque de la prédication de Bouddha à 400 ans environ A. C.

[3] Les Bouddhistes, au contraire, se plongent dans des ténèbres et des erreurs, et par leurs erreurs arrivent à perdre l'intelligence des choses.

Digitized by Google

conséquences, on verra qu'elle diffère grandement des maximes de nos lettrés concernant les deux principes [1].

Tout peut se résumer en cette maxime : la vraie doctrine est une; si celle-ci est vraie, l'autre est fausse; si celle-là est fausse, l'autre est vraie.

Les enseignements de Bouddha se répandent insidieusement et n'ont su observer aucune mesure. Cherchant à atteindre les sommets, ils sont tombés dans la plus basse corruption. Leur diffusion se fait au moyen d'artifices malhonnêtes. Parvenus à leurs fins tortueuses, ils montrent leur laideur.

Si l'on examine seulement un de ses livres, ses vices se manifesteront en grand nombre.

Si l'on connaît l'action incessante et successive du yin et du yang (semblable à celle du jour et de la nuit), on pourra connaître la nature et le décret céleste, et par là on connaîtra également et les saints et les esprits.

Le bouddhisme veut que l'on parle constamment du grand Vide [2], et n'applique point son intelligence à l'étude continuelle du yin et du yang. Mais si l'on n'étudie pas le Yih-king et veut s'affranchir de l'étude du yin et du yang, on restera sans culture et ce sera tout. Si l'on ignore le Yih-king, comment pourra-t-on parler conformément à la vérité [3]? Si l'on abandonne la vérité et que l'on veuille discourir des esprits célestes et terrestres, on tombera dans l'erreur. On pourra discourir vainement des principes, ils ne régiront pas le cœur, le cœur sans règle se dissipera.

1 Cette maxime, bien qu'exempte d'erreur, est insuffisante pour exprimer la vraie doctrine.

2 Le *Mahâçûnyata*. Cp. notre *Man-han si-fan tsieh-yao*, p. I, section XXVIII.

3 Les lettrés chinois ont une telle foi en l'infaillibilité de leurs livres qu'ils ne peuvent pas comprendre qu'on puisse s'en écarter en aucune manière ou les ignorer, sans tomber dans toutes les erreurs.

Digitized by Google

Chapitre XVI. — *De la gravité et de la plaisanterie.*

53. Si vous voulez vous former vous-même, commencez par acquérir la gravité et la noblesse du maintien et des manières [1]. Quand vous y serez parvenu, vous acquerrez la vraie science et la vertu progressera en vous et ne sera plus arrêtée. Pour avancer fermement, sincèrement dans la voie de la vertu, il faut estimer hautement l'amitié et avoir le zèle de la sagesse.

Si l'on veut se vaincre soi-même, il n'y a rien de tel que de ne jamais être négligent à corriger ses défauts propres.

54. Les paroles facétieuses viennent de la pensée, les actions propres à exciter le rire viennent de la réflexion. Les premières se produisent par les sons, les secondes par les quatre membres. Elles ne viennent pas du cœur, elles ne sont pas nobles et brillantes.

Vouloir que l'homme soit sans hésitation en soi [2] est chose inutile. Les paroles fautives, contraires à la pensée, ne sont point du cœur; les actes fallacieux ne sont point sincères et bons. Prétendre que ces fautes du parler et cet emploi abusif des membres conviennent à l'homme, c'est se tromper soi-même. Vouloir se faire imiter en cela par les autres, c'est les induire en erreur. Si ce qui sort du cœur est tourné en acte fautif et comme en une dérision de soi-même (par des plaisanteries légères), si des erreurs, des défaillances de l'esprit, on veut faire la vérité en se trompant soi-même et qu'incapable de bien diriger ce qui sort de soi, on rende même fautif ce qui n'en sort pas, mais reste dans le cœur et la pensée, ou que grandissant en arrogance, on suive l'erreur, on ne saurait dire où est le plus grand mal.

Commentaire. — Bien qu'un mot soit dit pour rire, il n'en sort pas moins de l'esprit; bien qu'un acte soit fait par plaisanterie, il n'en est pas moins

[1] Si l'on est grave et noble de manières, on évitera les actes et discours facétieux. Si l'on corrige ses défauts, on ne commettra plus de faute, ni en parole, ni en action. C'est là l'essentiel de l'enseignement du respect et de la justice. En le suivant on arrivera à posséder toute la doctrine du *Tong-ming*.

[2] Prétendre que, tout en manifestant du doute par des plaisanteries, on reste ferme en son intérieur.

Digitized by Google

fait avec réflexion. Dire qu'un mot plaisant n'existe que dans la voix et un acte facétieux dans les membres seuls et qu'ils n'ont point leur racine dans le cœur, c'est se tromper soi-même. Si l'on veut que les hommes ne doutent pas de ce qui est réellement en notre pensée (alors que nous mentons par plaisanterie), on n'y réussira pas.

Les manquements en parole, les mensonges, n'appartiennent pas au fond de notre cœur; ceux en actes ne sont pas réels et sincères. Si l'on prétend que ces fautes du son et des membres n'affectent pas l'intérieur et ne sont pas inconvenantes, on se trompe grandement. Vouloir que les autres s'y fient, c'est tromper les hommes.

Ces tromperies font retourner la plaisanterie contre nous et font de nous un jouet. Ne sachant point se corriger et grandissant par là dans le mal, (on est cause que) les fautes croissent et se multiplient.

Ce que l'on dit faussement avec intention et pour faire rire est une plaisanterie. Une erreur de parole ou de conduite commise involontairement est une faute. Si l'on agit avec délibération et qu'on veuille le cacher en disant qu'on l'a fait sans intention et qu'on fasse de cela un jeu, on tombe dans le plus grand excès.

Si l'on prétend avoir voulu ce qu'on a fait en réalité sans intention et qu'on veuille ainsi justifier sa faute et faire passer son mensonge pour vérité, on s'attache au faux et c'est là le comble de la sottise.

On ne doit point plaisanter de la sorte, car l'origine de ces plaisanteries est dans la fausseté. Avant de parler ou d'agir, on doit bien examiner ce qu'on va faire, donner une rectitude parfaite à son esprit et à son cœur; c'est le fondement de tout. Si l'on a commis quelque faute en parole ou en action, on doit avant tout se repentir, se donner au bien et corriger ses vices. C'est là pour l'enseignement des hommes une maxime profonde et féconde.

Digitized by Google

LIVRE III.

Système et écrits de Shao-tze.

INTRODUCTION.

Le Hoang-kih (principe sublime) de Shao-tze est, comme le Tcheng-meng, un essai d'explication de l'origine de l'être et de la formation du monde. Il se divise en deux parties, le *King-sse* et le *Kvân-wuh,* dont chacune se subdivise en autant de sections ou de livres.

Le *King-sse* se compose de deux tableaux dont le second n'est qu'une liste des sons et des tons de la langue chinoise; nous n'avons pas à nous en occuper, non plus que du commentaire expliquant les relations entre les tons et les éléments.

Le premier est fait à l'imitation du *Tai-kih-t'u* de Tcheou-tze, mais tout différemment quant au contenu; il ne remonte pas au delà du yin et du yang, qu'il pose au sommet de l'échelle des êtres, sans principe supérieur qui les unisse en sa substance. Le Tai-kih est cependant mentionné une fois dans le livre suivant.

Ce yin et ce yang se subdivisent, comme on le verra plus loin. Une seconde partie de ce tableau nous donne les huit corps fondamentaux ainsi que leurs rapports avec le yin et le yang et les quatre régions ou points cardinaux.

A cela, point de texte explicatif; mais le Sing-li tsing-y contient un court commentaire que nous donnons plus loin.

Ce double tableau indiquant le « tissu des principes formant le monde[1] » est le fondement de la seconde partie ou traité philosophique proprement dit, nommé par son auteur *Kvân-wuh* ou « Examen, traité des choses de ce monde, des êtres visibles et particuliers[2] ».

[1] *King-sse.*
[2] Voir la note du tableau 2.

Le *Kvân-wuh,* que nous trouvons au Sing-li tsing-y comme traité classique, est composé de deux parties ou livres très différents, désignés, selon la méthode chinoise, par les termes d'intérieur et extérieur, qui indiquent l'essentiel et l'accessoire, ou les principes fondamentaux et les développements. Ces deux livres, d'un caractère très différent, ont aussi une origine différente. Le premier a été rédigé et publié par le maître lui-même; le second n'était point sorti de l'enseignement oral de Tchang-tze et ne semble pas avoir été destiné par lui à être répandu dans le public, et cela en raison même de son caractère plus ou moins cabalistique; mais, après la mort de leur maître, ses disciples ne voulurent pas laisser périr des enseignements aussi précieux; c'est pourquoi ils recueillirent leurs souvenirs, les consignèrent par écrit et adjoignirent le traité rédigé de la sorte au texte même de Tchang-tze. C'est un exposé pythagorique, mais d'ordre inférieur, des nombres, de leur valeur ontologique, de leurs rapports avec l'essence et la production ou les opérations des êtres divers.

La première partie, celle qui émane de Shao-tze même, contient l'exposé d'un système ontologique conçu également selon le plan du Tai-kih-t'u, mais plus éloigné encore que le Tcheng-meng des principes du fondateur de l'école.

Pour notre philosophe, il n'y a à l'origine des êtres que le ciel et la terre, et en eux un double principe producteur qui n'est que le dédoublement du yang et du yin. Le yang de la terre est appelé « le Fort » et le yin « le Faible ». Ces expressions sont empruntées au Yih-king, dans lequel, du reste, les termes de « fort » et de « faible » ne désignent que la nature du yang et du yin, et non des forces particulières. Déjà le *Tcheng-meng* avait quelque chose de cela.

Selon Shao-tze, tout est né du double mouvement d'excitation et de mise en repos qui se produit au ciel et en terre. Le *Kvân-wuh* donne en outre tout le système de la formation des êtres, des éléments, de l'homme, comme le conçoit l'auteur, pour qui le saint est la perfection de l'être. Le reste du livre se rapporte à la morale.

Le commentaire a cela d'intéressant qu'il nous fait connaître un quatrième système dont le Sing-li tsing-y ne parle pas autrement : c'est celui de Shao-

Digitized by Google

Pe-wen, fils de Shao-tze et continuateur de son grand commentaire sur le Yih-king (1057-1134).

Shao-Pe-wen, tout en suivant les idées de son père, remet à sa place le Tai-kih de Tcheou-tze et en fait dériver le yang et le yin, comme de ces deux-ci il fait procéder les quatre principes, sans les partager entre le ciel et la terre, ainsi que l'avait fait son père. Son ontogonie diffère de celle de Shao-tze dans les détails, mais lui ressemble parfaitement quant au principe, comme on le verra plus loin.

Les lettrés des âges postérieurs ont beaucoup vanté Shao-tze et trouvèrent ses vues très profondes. Nous laissons à nos lecteurs le soin de juger cette appréciation.

Voici le commentaire du tableau de Shao-tze :

Shao-tze enseignait l'ancienne théorie du ciel [1].

Dans les kouas de Fo-hi, les huit premières formes représentaient le ciel, la terre, le tonnerre, le vent, l'eau, le feu, les montagnes et l'eau stagnante. Shao-tze en fit les représentants du soleil, de la lune, des étoiles, de l'éther, de l'eau, du feu, de la terre et de la pierre (considérés comme éléments primordiaux). Les formes primitives de Fo-hi n'étaient point ainsi (comme on vient de le voir). Shao-tze les prit toutes les huit pour figurer la substance du ciel et de la terre et, les développant, vint ainsi à représenter le froid et le chaud, la venue et le départ du jour et de la nuit, la pluie et le vent, la condensation et la dispersion du verglas et du tonnerre, la nature et la pensée, la substance cachée et manifeste des corps et des formes, la marche et la course des êtres [2], le mouvement et la stagnation des végétaux (en été, en hiver). Quant à l'homme, on distingue les humeurs et la moelle, l'esprit vital, le sang et le souffle, les os et la chair dans leurs parties fines et épaisses.

[1] Shao-tze s'en tenait plutôt aux anciennes doctrines contenues dans les commentaires du Yih-king qu'au système des Singlistes; mais, dans son tableau des quatre formes du ciel et de la terre, il s'est écarté de Fo-hi et du sens que celui-ci attachait aux huit trigrammes fondamentaux, parce qu'il voulut s'en servir pour désigner ce qu'il considérait comme les corps élémentaires.

[2] C'est un usage des philosophes naturalistes chinois de distinguer les êtres volants et courants, les sautants et nageants, etc. Tout ceci indique la matière du Kvân-wuh.

Digitized by Google

En l'homme il y a les oreilles et les yeux, le nez et la bouche, le son et la couleur, le souffle et le goût dans leurs excitations et leurs convenances mutuelles. Le commencement, le développement, l'affermissement, l'achèvement, forment la loi du ciel. Le bien et le mal, le regret et le repentir [1], distinguent les différentes espèces d'actions humaines.

Quant à la marche du temps et à la succession des âges, on distingue le principe et la durée, le commencement et la fin [2].

Quant à la sagesse, le mérite, le zèle au bien, on cite les Hoang [3], les Ti [4], les Wang [5], l'élévation et l'abaissement de la dignité.

Tout cela se résume, comme c'est contenu, dans la doctrine du Yih, du Shuh, du Shih et du Tchun-tsiou, et ces enseignements se trouvent dans les deux chapitres de ce livre.

[1] Ce sont les termes sacramentels employés au Yih-king pour caractériser les actes et la bonne ou la mauvaise fortune qui les suit.

[2] Ce sont tous principes de division dans la philosophie chinoise, qui confond la science de la nature avec la philosophie.

[3] Premiers êtres mythiques qui régnèrent des milliers d'années à l'origine du monde. Ce sont des rêveries taoïstes.

[4] Premiers souverains légendaires.

[5] Les rois des dynasties historiques.

Digitized by Google

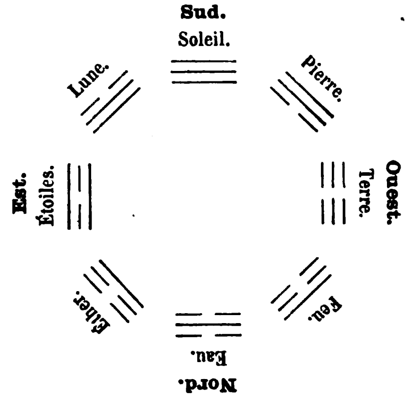
LE HOANG KIH OU PRINCIPE SUPRÊME.

Livre I. — Ordre et relation des choses de ce monde (King-sse).

1. Tableau de l'amplification du Yih.

Activité (Ciel).				Inactivité (Terre).			
———				— —			
Yang.		Yin.		Fort (Kong).		Faible (Zheu).	
———		———		———		— —	
Ta[1] Yang.	Ta Yin.	Siao[2] Yang.	Siao Yin.	Ta Kong.	Ta Zheu.	Siao Kong.	Siao Zheu.
———	— —	———	— —	———	———	———	———

2. Tableau des quatre formes du ciel et de la terre[3].



1 Grand.
2 Petit.
3 Ce tableau sert à expliquer et les kouas comme représentant les éléments ou corps primordiaux, et l'origine, la formation de ces corps comme provenant du yin et du yang, dont les combinaisons sont représentées par les lignes des kouas. On verra plus loin les détails de ce système.

Digitized by Google

Livre II. — Kvan wuh.

Chapitre I.

1. La plus haute perfection des êtres n'atteint pas le ciel et la terre [1]; il y a donc toujours lieu de perfectionner leur nature.

2. La grandeur, l'essence (*ta*) du ciel consiste dans le yin et le yang; celle de la terre dans les deux principes actifs, spontané et réceptif, réactif.

Le ciel est né du mouvement; la terre est née du repos.

Un mouvement et un repos mis en harmonie (et se succédant alternativement) comprennent tout le principe d'existence du ciel et de la terre.

Au premier principe du mouvement, le yang se produisit; au dernier terme de ce mouvement initial, le yin fut produit. Un yin rencontrant un yang et s'harmonisant avec lui, se combinant, constitue l'activité du ciel [2].

Au commencement originaire du repos, le principe faible prit naissance; à son terme final, le principe fort se produisit.

Un mouvement fort, un faible concordant constituent l'activité de la terre.

3. Le principal du mouvement s'appelle le Grand Yang; sa partie inférieure est le Petit Yang. Le principal du repos est le Grand Yin; sa partie inférieure est le Petit Yin.

4. Le Grand Yang est le soleil, et le Grand Yin, la lune.

Le Petit Yang forme les étoiles, et le Petit Yin, l'éther.

L'harmonie du soleil, de la lune, des étoiles et de l'éther forme le corps, la substance visible du ciel.

Le Grand Faible forme l'eau, et le Grand Fort, le feu.

Le Petit Faible est la terre, et le Petit Fort, la pierre. L'eau, le feu, la terre et la pierre, par leur harmonie, constituent le corps de la terre [3].

[1] Le ciel et la terre sont, pour Shao-tze, des éléments en qui est incarnée la substance du yang et du yin; les êtres sont les êtres particuliers autres que ces éléments.

[2] Ceci est conforme à la théorie initiale du *Tai-kih-tu*. Ce qui suit est particulier à Shao-tze; ces divisions des deux principes n'ont guère été adoptées dans l'école.

[3] Le paragraphe 4 nous explique le second tableau.

Digitized by Google

Commentaire. — *Système de Shao pe-wen :* « Ce qui est simple, entier, ne formant qu'un corps est appelé le Grand Principe [1]. Le Grand Principe ainsi formé, la première forme et le premier corps qui se produisirent sont les deux puissances premières (*i*). Ces deux forces se distinguant en yin et yang, en principes forts et faibles qui se produisirent ensuite, constituent les quatre formes (*tsiang*). Ces quatre formes séparées de nouveau et formant le Grand et le Petit Yang, le Grand et le Petit Yin, le Grand et le Petit Fort, le Grand et le Petit Faible ont donné naissance aux huit kouas [2].

» Les deux Yangs et les deux Yins se sont extériorisés dans le ciel [3] et sont devenus le soleil, la lune, les étoiles et l'éther.

» Les deux Forts et les deux Faibles ont pris corps dans la masse terreuse et sont devenus l'eau, le feu, la terre et la pierre.

» Ces huit substances étant ainsi formées, le corps du ciel et celui de la terre furent constitués et par après formèrent, par leurs évolutions et changements, tous les êtres existants; de ces huit, quatre sont le vrai fondement [4].

» La forme parfaite dans le ciel est le soleil; le corps parfait produit dans la terre est le feu. Emprunté au soleil par le yang, le feu provient primitivement du même corps que le soleil. La lune est également un corps produit du ciel. L'eau a pris corps dans la terre, elle est venue comme par échange (*teo denjeme*) de la perle Fang tchou de la lune [5]. L'eau et la lune proviennent originairement d'un même corps.

» Les étoiles ont pris forme dans le ciel et la pierre a pris corps dans la terre. Les étoiles tombées devinrent pierre; étoiles et pierre proviennent d'un même corps. La voûte céleste a pris forme dans le ciel, et la terre [6] dans

[1] *Tai-kih*, le principe suprême.

[2] Ici, comme au Tcheng-meng, les kouas sont pris comme des entités et la représentation pour la chose représentée. La haute idée que l'on a de la valeur des kouas fait qu'on leur attribue toute puissance, sans s'inquiéter si les mots recouvrent une réalité quelconque.

[3] Ce sont eux qui forment le ciel, son apparence visible, qui se composent des astres et de l'éther; ils ne sont pas *dans* le ciel comme contenant; même chose des quatre autres principes quant à la terre.

[4] Le yang et le yin, le fort et le faible, divisés chacun en *grand* et *petit*.

[5] 方諸.

[6] Le humus opposé au globe terrestre.

Digitized by Google

le globe terrestre. Tout ce qui est azur au delà du soleil, de la lune et des étoiles est *chang,* voûte céleste, éther. Tout ce qui est large et étendu en dehors de l'eau, du feu et de la pierre, est terre. La terre (*humus*) et l'éther proviennent originairement d'un même corps [1].

» Tout, entre le ciel et la terre, se correspond harmoniquement, comme les corps et leur ombre, le son et l'écho.

» Les formes célestes brillent-elles en haut, les corps y correspondent et les représentent en bas. C'est là leur constitution naturelle.

» Le soleil, la lune, les étoiles et l'éther sont comme l'oreille, l'œil, le nez et la bouche de l'homme [2]. Le feu, l'eau, la terre et la pierre sont comme le sang, le souffle, les os et la chair dans l'homme. C'est pourquoi on les dit les corps du ciel et de la terre.

» Le yin et le yang, les principes actifs et réceptifs ressemblent aux humeurs et à la moelle de l'homme, qui se répandent et atteignent les oreilles, les yeux, le nez et la bouche, comme le sang, le souffle, les os et la chair. C'est pourquoi on les appelle les moyens d'action du ciel et de la terre.

» Le Premier Principe, bien qu'antérieur au ciel et à la terre [3], ne les a point précédés; bien que postérieur, il ne vient point après. Si le ciel et la terre ont une fin, lui n'en aura point. S'ils ont eu un commencement, lui n'en a pas davantage. Uni au ciel et à la terre, comme à tous les êtres particuliers, il n'a ni commencement, ni fin, ni antériorité, ni postériorité.

» Dès que le Premier Principe existe, les deux *i*, les quatre formes, les

[1] Les philosophes chinois ne nous donnent aucune raison qui appuie ces arrangements de pure fantaisie; devant chercher l'origine des corps, ils prennent ce qui présente à leurs yeux quelque vraisemblance sans se donner jamais la peine d'essayer une preuve. Du reste, la physique européenne du moyen âge était capable de ce genre de systématisation.

[2] Ceci et ce qui suit se rapporte à ce qui est dit dans le commentaire des tableaux, page 80. On voit ce qui a déterminé le commentateur à mentionner ces diverses choses.

[3] Shao pe-wen revient au premier principe que son père avait laissé de côté et lui assigne une place dans le système de ce dernier. Le Tai-kih n'a jamais existé seul sans ses productions et il subsiste encore après avoir tout produit. Si les êtres issus de lui venaient, *par impossible,* à disparaître, lui seul subsisterait pour en produire d'autres par ses mêmes énergies.

Digitized by Google

huit kouas [1], tout, jusqu'au ciel, à la terre et aux êtres divers est produit et achevé.

» Cela ne se fait pas comme si le Premier Principe était aujourd'hui, demain les deux *i*, puis les quatre formes, etc., et qu'ainsi les huit kouas se produiraient; bien que l'un naisse de l'autre, tout se produit en un même temps. Il en est de cela comme de l'ombre qui est aussitôt que le corps existe. De même que dès qu'un est, deux, trois existent aussi. Et cela existe de la sorte sans jamais finir.

» C'est pourquoi le Premier Principe, dès avant l'existence des êtres, était complet et entier. Leur production ne l'a pas diminué, ni appauvri. Précédemment, comme maintenant, il n'y a en lui ni succession de temps, ni immobilité [2].

» Ce qui donne les propriétés de chaque être est le destin, le décret céleste. Ce qui en constitue le fondement est la nature. Ce qui domine tout en eux c'est le ciel. Ce qui produit tout en eux est le cœur. En réalité, tout cela est *un* [3].

» Les saints du temps passé mettaient au-dessus de tout et considéraient comme essentiel de parfaire tout principe de justice, de perfectionner leur nature, de se conformer à leur destin, de perfectionner leur cœur, de connaitre le ciel par la nature, d'affermir leur cœur, de développer leurs facultés naturelles et de servir ainsi le ciel.

» On demandait à Shao-tze pourquoi il avait substitué le feu, l'eau, la terre et la pierre (comme éléments) au métal, bois, eau, feu et terre [4]. Il répondit : Le soleil, la lune, les étoiles et l'éther sont les quatre formes du ciel; l'eau, le feu, la terre et la pierre sont les quatre corps de la terre. Le métal, le bois, l'eau, le feu et la terre sont les cinq éléments. Les

[1] Les deux *i* sont le yang et le yin; les quatre formes, celles dont il vient d'être question. Les huit kouas désignent les éléments qu'ils représentent. (Voir le 2e tableau.)

[2] Ou peut-être : il subsiste toujours le même.

[3] Leur réalité est une seule et même chose. La nature est le décret céleste réalisé dans l'homme; le cœur est le sentiment du ciel; tout se réunit en une seule chose : le ciel.

[4] Corps regardés comme éléments déjà dans le Shuh king; mais aux yeux de Shao-tze ces cinq éléments sont le produit des quatre corps ou formes originaires. C'est pourquoi ce sont les substances primitives qu'il considère comme éléments vrais.

Digitized by Google

quatre formes, les quatre corps ont été du premier ciel; les cinq éléments sont du ciel subséquent. Ces deux ciels se sont formés ainsi : Les quatre corps, eau, feu, terre et pierre, sont les corps primitifs; les cinq éléments se sont produits dans leur mise en action, c'est pourquoi on les appelle *hing* (agissant). Ils se meuvent entre ciel et terre. Les cinq éléments sont au sein de l'eau, du feu, de la terre et de la pierre. Le métal sort de la pierre; le bois de la terre; dès qu'il y a pierre il y a métal; dès qu'il y a terre il y a végétal. Le métal se parfait en prenant la nature soluble et malléable. Le bois est la seule chose qui ne plie pas. Ne doit-on pas, abandonnant la catégorie des cinq éléments, s'en tenir aux quatre corps? »

5. Le soleil est chaud; la lune, froide; les étoiles sont lumineuses; l'éther (jour), obscur (nuit). Le chaud et le froid, la lumière et l'obscurité harmonisés formèrent les révolutions du ciel. L'eau devint pluie, le feu forma le vent, la terre forma la rosée, la pierre forma le tonnerre. La pluie, le vent, la rosée et le tonnerre s'étant harmonisés, les transformations de la terre se produisirent.

6. Le chaud change la nature des êtres et le froid leur intelligence [1]. La lumière change leur apparence et la nuit leur substance [2]. La nature, l'intelligence, la forme et la substance étant en rapports harmoniques, tous les mouvements des choses mobiles et immobiles s'y forment et s'y développent.

La pluie produit tous les mouvements d'écoulement, le vent tous ceux de course; la rosée fait pousser les végétaux, et le tonnerre, les arbres, le bois [3]. L'écoulement et la course rapide, la pousse des végétaux et arbres s'harmo-

[1] Ou plutôt leurs sentiments. Les Chinois confondent ces deux notions.

[2] Leur corps. Shao-tze ne s'explique pas là-dessus. Il considère l'obscurité comme produite par une modification de la substance des corps; sans cela on devrait continuer à les voir, quoique sous une apparence terne et faible.

[3] Comment cela? Devine qui pourra. Les philosophes chinois attribuent au mouvement matériel une influence vitale et morale provenant de la confusion des deux ordres matériel et intellectuel.

C'est cette même conception générale qui leur a fait imaginer l'influence de la musique sur l'homme, sur le genre humain, sur la nature terrestre et céleste dont il est question à chaque instant dans les livres chinois depuis la plus haute antiquité.

Digitized by Google

nisant, tous les rapports de concorde entre les êtres mobiles et immobiles sont établis.

7. Quant à l'homme, le froid et le chaud, la lumière et les ténèbres produisent aussi des transformations; la pluie et le vent, la rosée et le tonnerre engendrent des productions nouvelles. La nature, l'intelligence, la forme et la substance sont toujours en mouvement; les mouvements d'écoulement, de course, de pousse et croissance des végétaux et arbres sont toujours en harmonie entre eux.

C'est ainsi que les yeux perçoivent la couleur des objets; l'oreille, leur son; le nez, leurs émanations, et la bouche, leur goût[1]. C'est par leur connaissance que l'on développe la faculté de perception, comme cela doit être.

8. L'homme peut recevoir des objets extérieurs la connaissance, le développement de son intelligence[2]. L'œil sait recueillir en lui la couleur des divers êtres; l'oreille, leurs divers sons; le nez, leurs effluves; la bouche, leurs goûts. Le son, la couleur, les effluves, le goût constituent la substance des objets. Les yeux, les oreilles, le nez et la bouche sont les moyens d'action de l'homme.

9. Ainsi l'on sait que l'homme est le summum des êtres; le saint est le plus parfait des hommes. Le summum des êtres est appelé l'être des êtres; le plus parfait des hommes est appelé l'homme des hommes. L'être des êtres est l'être le plus parfait; l'homme des hommes est l'homme le plus parfait. Si ce qui est le plus parfait des êtres et le plus accompli des hommes n'est pas le saint, qu'est-ce donc[3]?

10. C'est ce que signifie ce que l'on dit: qu'avec un cœur unique on peut

[1] Les Indous avaient imaginé une sorte d'élément général répandu dans l'univers et au moyen duquel les sens de chaque individu percevaient ses objets particuliers. (Cp., entre autres, les lois de Manou : Mânavadharmaçâstra.

Les Chinois ont une conception analogue malgré les différences; les sens perçoivent au moyen de l'action générale de la chaleur, du vent, etc. Toutefois on pourrait entendre cette explication d'une manière plus rationnelle.

[2] Ceci ne va pas jusqu'à la maxime aristotélicienne : *nihil est in intellectu quod non fuerit in sensu.*

[3] Nous retrouvons ici la préoccupation des manuels précédents. Le saint, l'homme parfait par nature, est l'objet principal de la philosophie. En cela elle reste confucéaniste.

Digitized by Google

scruter tous les cœurs [1], qu'avec un corps unique on peut scruter tous les corps; avec un seul objet, tous les objets; en un seul âge, tous les âges. Et de plus : qu'on peut, avec ce cœur, penser à la place du ciel; avec cette bouche, parler à la place du ciel; avec cette main, travailler en lieu et place du ciel; avec ce corps, s'occuper d'affaires au lieu du ciel. Et encore : quant aux choses supérieures [2], on peut ainsi connaître les temps du ciel; quant aux inférieures, parfaire le principe de la terre; quant aux moyennes, parfaire la cause productrice des êtres et comprendre parfaitement les affaires humaines. Enfin, qu'un tel homme peut achever l'œuvre du ciel et de la terre, produire au dehors et au dedans les créations nouvelles et les transformations; faire progresser ou reculer l'actuel ou l'ancien; parfaire intérieurement et extérieurement les hommes et les choses [3].

11. Hélas! les saints ne sont plus imités, je n'en vois plus, et cependant si on considère leur cœur, étudie leur intelligence [4], approfondit leur être et s'applique à leurs actes, même après dix mille fois mille ans, on ne peut méconnaître qu'ils possèdent les vrais principes et qu'on peut les reconnaître à cela.

12. Il est dit au Yih king : En pratiquant parfaitement les principes (*li*) et perfectionnant la nature [5], on atteint son destin. Ce principe est celui des êtres; cette nature est celle du ciel; son décret-destin affermit le principe

[1] Ce qui suit jusqu'au § 20 a pour objet le saint, la sainteté, selon les idées traditionnelles. Le cœur parfait du saint étant connu, on peut y voir tous les autres cœurs; un corps parfait est le modèle de tous les corps; tous les âges se ressemblent : en connaître un parfaitement, comme le fait le saint, c'est les connaître tous. Le saint est égal au ciel (style traditionnel), il agit comme le ciel, comme son chargé d'affaires.

[2] Les choses supérieures sont celles du ciel; les inférieures sont celles de la terre; les moyennes, celles de l'humanité.

[3] Littéralement : fait de l'homme et des choses l'étoffe et la doublure.

[4] Examine leurs traces ou exemples.

[5] Shao-tze en vient au sujet traité par son fils (voir note 14) et explique à sa façon le destin, la nature et le principe rationnel *li*. Mais il suit plutôt les idées du Li-khi que celles de son fils. Il n'identifie pas tout comme le faisait son fils. Cela suit, du reste, très naturellement le paragraphe 11, puisque l'auteur y développe le principe de la sainteté; il accorde au ciel une action personnelle mieux dessinée. L'homme doit former en lui la nature du ciel, ainsi il atteindra tout son destin et il le fera en suivant le principe rationnel en tout et partout. Le destin a pour règle et principe la loi rationnelle, le *tao*.

Digitized by Google

et la nature. Ce qui peut les affermir, si ce n'est point la loi rationnelle, qu'est-ce donc?

13. Ainsi l'on voit que cette loi est le fondement du ciel et de la terre, et que le ciel et la terre sont le fondement de toutes choses. Si, considérant le ciel et la terre, on scrute toutes choses, toutes les choses sont les êtres particuliers [1]. Si, du point de vue de la loi rationnelle, on étudie le ciel et la terre, le ciel et la terre forment l'ensemble de tous les êtres.

14. La raison de cette loi, c'est le ciel qui la parfait, (成 *bibumbi* [2]); la loi du ciel, c'est la terre qui la parfait; la loi du ciel et de la terre, c'est l'être particulier qui la parfait; la loi du ciel, de la terre et de tous les êtres, c'est l'homme qui la parfait.

Si l'homme sait comprendre que la loi du ciel, de la terre et des êtres est accomplie par l'homme, il saura perfectionner le peuple.

Ce qui du ciel sait parfaire les choses est appelé Hoang Tien [3].

Celui qui sait rendre le peuple parfait est appelé saint.

15. Dans le perfectionnement des choses par le ciel suprême [4], dans le perfectionnement du peuple par les saints, il y a quatre fous ou stades. Les quatre fous du ciel suprême sont le printemps, l'été, l'automne et l'hiver. En eux le yin et le yang montent et baissent.

Les quatre fous des saints sont le Yih king, le Shuh king, le Shih king et le Tchun tsiou. Les rites et la musique s'y montrent baissant et s'élevant.

Le printemps est le temps qui engendre; l'été, celui qui fait croître;

[1] Développement de l'idée précédente. Examinés en particulier, en détail, les êtres forment les parties du ciel et de la terre. Si l'on part de la loi rationnelle alors on doit considérer le principe d'unité des êtres et l'on ne voit plus que leur ensemble, leurs qualités générales incarnées dans le ciel et la terre.

[2] Mandchou *bibumdi;* qui la fait une réalité. Cette loi se réalise dans le ciel qui la suit; la loi du ciel se réalise dans la terre qui lui est conforme. L'homme est le résultat, l'incarnation de toutes les lois, c'est le microcosme. Celui qui comprend cela saura quelle loi il doit faire suivre par le peuple pour le rendre parfait.

[3] Le ciel vénérable, suprême; c'est la partie supérieure du ciel, comme le saint est la fraction supérieure de l'humanité.

[4] Nous retrouvons encore ici la confusion ordinaire de l'ordre moral avec l'ordre physique. Le cours des saisons est identifié aux divers livres de morale.

Digitized by Google

l'automne, la saison qui fait recueillir; l'hiver, celle où les êtres se cachent, rentrent en eux-mêmes.

En parlant de la totalité des êtres, on emploie le mot dix mille. Quand même on dirait dix mille fois dix mille, on ne sortirait pas des quatre sections de l'année, des quatre fous du ciel suprême [1].

Le Yih king est la section de la procréation des hommes; le Shuh, celle du développement des peuples; le Shih, celle de leur recueillement 収, et le Tchun tsiou, celle où ils se cachent (*somire*). En parlant de tous les peuples, on dit : dix mille. Quelque nombreux que soient les hommes, ils ne dépassent pas les quatre stations des saints [2].

Les quatre fous du ciel sont les saisons; ceux des saints sont les kings.

Le ciel suprême a donné les saisons aux hommes; les saints ont imité le ciel dans les kings. Combien sont grandes les œuvres du ciel et des hommes!

Kong tze, en développant le Yih king, partit de Fo hi et de Siuen Yuen. En mettant en ordre le Shuh king, il commença à Yao et Shun, et suivit; en partageant le Shih king, il commença par Wen et Wuh-Wang, et suivit. En arrangeant le Tchun tsiou, il partit de Hang et Wen [3].

En partant de Fo-hi et Siuen-Yuen, il posa comme aïeux originaires les trois Hoangs; en partant de Yao et Shun, il mit en tête comme ancêtres les cinq Tis; en partant de Wen et Wuh, il posa comme fils les trois Wangs; en partant de Hang et Wen, il posa comme descendants les cinq Pas [4].

17. Les autres plaignent Kong-tze de n'avoir point eu de possession de

[1] Tout y est compris et soumis, quel que soit le nombre.

[2] Il n'y a pas d'homme qui ne soit dans un de ces quatre états de l'humanité. Le Yih explique l'origine de l'humanité; le Shuh raconte ses fastes, ses développements; le Shih, sa prospérité (littéralement : sa récolte) et le Tchun-tsiou, son obscurcissement par suite du désordre et de la dépravation, comme de la chute des Etats. Ces quatre états correspondent aux quatre saisons.

[3] Les premiers linéaments du Yih-king sont censés avoir été tracés par Fo-hi. Sïen-Yuen est Hoang-ti. Les suivants sont suffisamment connus. *Hang* était frère, par une seconde mère, du Kong *Hoei* de Lou dont le fils aîné régna après son père et dont l'histoire commence le Tchun-tsiao.

[4] Les cinq Pas étaient les chefs des cinq familles les plus puissantes de l'état de Tcheou aux VII[e] et VI[e] siècles A. C.; ils dominaient l'empire et y semaient constamment le trouble. Shao-tze veut dire qu'il établit et détermina l'ordre des générations.

Digitized by Google

terre; moi seul je pense le contraire. Cent mous 畝 forment la possession d'un particulier; cent lis celle d'un tai fou; les limites de leur état forment celle des chefs féodaux; les neuf provinces forment celle du fils du ciel. Pour Kong-tze ce sont tous les âges. Aussi l'on ne doit point tenir pour exagéré ce mot de Meng-tze que : depuis l'origine des peuples, il n'y a pas eu d'homme semblable à Kong-tze.

18. Quand le monde est bien gouverné et en paix, les hommes estiment haut les actions. Quand il commence à être dans le trouble, les hommes estiment surtout les paroles. Quand on estime surtout les actes, la vraie doctrine règne, est pratiquée. Quand on estime avant tout les paroles, l'art, l'habileté rusée est le plus pratiquée. Quand la paix règne, les hommes estiment surtout la justice; aux temps troublés, ils estiment le gain. Au premier cas, la modestie, l'esprit de conciliation, de concession règnent; au second cas, c'est l'art de prendre et de voler.

Les trois Wangs estimaient les actes; les cinq Pas estimaient l'art de parler. Les premiers s'adonnaient à la justice; les seconds, au gain.

La distance du profit à la justice est extrême.

19. On voit par là que le parler de la bouche ne vaut pas l'agir du corps; l'acte du corps ne vaut pas le perfectionnement du cœur.

Ce qu'on dit de la bouche, l'homme sait l'entendre; ce que le corps fait, l'homme sait le voir; ce que le cœur accomplit, les esprits (seuls) savent l'apercevoir. L'intelligence perspicace de l'homme ne peut être trompée; à combien plus forte raison celle des esprits.

Éviter la honte par la bouche, le parler, n'est pas tant que l'éviter par le corps, les actes; l'éviter dans les actes n'est point tant que l'éviter dans le cœur; on le voit par là.

Il est facile de ne point faillir par la bouche, mais difficile de ne point le faire par le corps dans les actes. Mais cela est encore facile; difficile est de ne point faillir dans le cœur. Si l'on y parvient, combien on doit être tenu pour fort, vertueux !

Quand on rencontre un homme qui ne pèche point en son cœur, comment (ne point) discourir avec lui du cœur? Ainsi on voit que les saints savent se tenir fermes, sans faute; la cause en est, on doit le savoir, qu'ils savent corriger leurs cœurs.

Digitized by Google

20. Le soleil [1], la lune, les étoiles et l'éther forment les changements du froid, du chaud, de la lumière et de la nuit. L'eau, le feu, la terre et la pierre forment les successions de pluie, vent, rosée et tonnerre. Les quatre premiers produisent les transformations de nature, intelligence, forme et corps. La pluie, le vent, la rosée et le tonnerre produisent les mouvements d'écoulement, course, pousse des plantes et arbres. Le chaud produit les variations de nature de ces quatre mouvements. Le froid produit celles de leur motion intentionnelle (*gonin*); le jour, celles de leur forme apparente, et la nuit, celles de leur substance matérielle (*beye*).

La pluie opère les variations d'écoulement de la nature, de l'intelligence, de la forme et de la substance. Le vent opère leurs mouvements de course; la rosée leur nature végétale; le tonnerre leur nature ligneuse 草木.

21. La nature, le sentiment, la forme et le corps ont leur fondement dans le ciel; les mouvements d'écoulement, de course, de végétation l'ont dans la terre. Ce qui a son fondement dans le ciel forme la division, se divise en yin et yang; ce qui l'a dans la terre, se divise en principes fort et faible. Ces quatre divisions comprennent le ciel, la terre et tous les êtres particuliers. Ce qui achève les perfections du ciel et de la terre et de toutes choses, c'est l'homme.

CHAPITRE II.

INTRODUCTION.

Le chapitre II du *Kvân Wuh* est, comme on l'a vu, l'œuvre des disciples de Shao-tze, qui ont cru y recueillir les enseignements de leur maître. Qu'ils les reproduisirent d'une manière complètement fidèle, c'est ce qui paraît assez douteux, puisque, par exemple, Shao-tze avait laissé le Principe suprême (Tai kih) en dehors de son système, tandis que les rédacteurs de ce chapitre l'y font rentrer comme partie fondamentale. C'est là plutôt la

[1] Après cette digression morale, Shao-tze revient à son sujet cosmogonique et répète à peu près ce qu'il a dit plus haut. Il y a cependant entre ces deux passages des différences que le lecteur remarquera aisément. Il revient à la fin à sa division première (tableau I), comme résumé de son livre, et pose finalement l'homme au-dessus de tout; il réunit en lui les qualités du ciel, de la terre et de tous les êtres particuliers.

Digitized by Google

doctrine de Shao-pe-wen, que nous avons vue au commentaire. Le commencement et plusieurs autres passages de notre chapitre sont de la pure cabalistique, sans aucune valeur philosophique. Quelques autres sont d'une insignifiance absolue. Nous en omettons un certain nombre pour ne pas lasser nos lecteurs. Les combinaisons au moyen des kouas ne sont pas beaucoup plus rationnelles. A côté de cela, il y a certains passages qui ne manquent pas d'importance; tels sont les paragraphes où il est parlé des Esprits. Le désordre qui règne dans cet exposé d'idées de toutes espèces, ne permet pas d'en donner une analyse.

Chapitre II.

1. Le nombre du ciel est cinq; celui de la terre est aussi cinq [1]; réunis, ils forment dix. C'est la plénitude des nombres. En changeant (retranchant) un au nombre du ciel on a quatre; même chose pour la terre. Quatre a un corps; l'un (restant) n'en a pas. C'est le principe suprême (*kih*) du non-être.

Le nombre du corps du ciel étant quatre, la partie agissante est trois [2]; ce qui n'agit point est un. Il en est de même de la terre.

Commentaire. — Tchang-Min dit : Un est le premier principe. Quatre, c'est, pour le ciel, le Grand et le Petit Yang, le Grand et le Petit Yin. Pour la terre, c'est le Grand et le Petit Fort, le Grand et le Petit Faible.

Le nombre trois dans le ciel, la partie active, est formée de trois yang; le quatrième, séparé, non actif, est le Grand Yin.

Le nombre trois dans la terre, sa partie active, se compose de trois yin; le quatrième, non actif, est le Grand Fort.

Ces dix complètent les nombres du ciel et de la terre. Cela comprend, sans distinction, le Premier Principe.

1 Ce nombre est 5 parce qu'il comprend quatre principes indiqués au tableau I, plus le Tai-kih dit le commentaire. Mais l'auteur ne dit pas cela du tout; pour lui, c'est le *kih*, point suprême du non-être, de l'invisible.

2 Ceci est plus difficile à comprendre. L'explication du commentaire n'est pas bonne, puisque le ciel ne comprend pas trois yang, mais deux yang et deux yin. Saisisse qui pourra!

Digitized by Google

Huit est le nombre des corps du ciel et de la terre réunis (chacun ayant quatre) sans distinction.

Six est le nombre particulier de leurs parties actives réunies et séparées du reste. (Tchang-Min).

2. Le ciel brille au sud et est obscur au nord; il est à son plus haut point à six [1] et le dépasse en sept (sept est au delà). C'est pourquoi l'homme en voit le devant, ne connaît point le derrière et ne fait point attention à ses côtés droit et gauche.

3. Le nombre du ciel commence à *K'ien* et finit à *Tchen* 震 [2], le reste se perd dans le non-être, car la substance éthérée du ciel ne se voit point. La terre laisse de côté le nombre un et commence à douze [3], car le feu terrestre est habituellement caché.

Le ciel a sa propre substance pour point suprême et la cache constamment. La terre a pour base principale son activité et en dérobe aux regards toute l'action.

4. Les lignes du yang forment le nombre du jour, et celles du yin, le nombre de la nuit. Le ciel et la terre étant en relation mutuelle, le yin et le yang en action réciproque, le jour et la nuit ont leurs limites respectives, le principe fort et le faible leur union convenable [4]. Le printemps et l'été sont du yang, c'est pourquoi le nombre du jour y est gros et celui de l'obscurité très petit. L'automne et l'hiver sont du yin, c'est pourquoi le nombre du jour y est petit et celui de la nuit très grand.

5. Les étoiles sont rondes; le nombre de cycles du temps commencent là.

La terre est carrée; c'est pourquoi en délimitant les provinces et les propriétés on a imité cette forme.

[1] Réunion de toutes les parties actives; au delà il n'y a point d'action, partant point de cognoscibilité.

[2] Ce sont le 1er et le 5e des kouas du Yih-king. *Tchen* est le tonnerre, ou plutôt c'est le 4e trigramme représentant aussi le tonnerre. Dans le système de Shao-tze, l'éther venait après et l'éther est invisible, c'est le *non* dans le sens chinois.

[3] L'auteur ne s'expliquant ni directement ni indirectement, il serait bien difficile de le comprendre.

[4] Tout cela est réglé par l'accord du ciel et de la terre, du yin et du yang. L'été est du yang parce que la lumière appartient à ce principe.

Digitized by Google

Le nombre des objets ronds est celui du Ho-tou; le nombre des objets carrés est celui du Lou-Shuh [1]. C'est en les imitant que Fo-hi et Wen-Wang ont fait le Yih-king, et que Yu et Khi-tze en prenant une partie (les distinguant) ont fait le chapitre Hoang-fan (du Shuh [2]).

6. Quel est le nombre le plus développé dans le Yih-king? C'est celui auquel les saints se sont le plus attachés.

Le nombre 25 du ciel, ajouté à lui-même, forme 50. Le nombre de la terre est 30 [3]; doublé, il forme 60. C'est pourquoi ils sont entre eux en rapport et unis par le seul nombre 5.

Le nombre 50 est celui de la plante *Shi* [4]; celui des kouas est 60. — 5 est le petit développement de la shi, et 50, le grand

8 est le petit achèvement des kouas; 64, en est le grand [5].

La vertu de l'herbe shi agit en cercle; c'est pourquoi on l'assimile au ciel, quant au nombre [6], et on lui donne le nombre de branches 7 × 7 ou 49. C'est 50 moins 1 qu'on laisse de côté.

La vertu des kouas agissant en carré est assimilée à la terre, quant au nombre, c'est pourquoi on lui donne le nombre 8 × 8 ou 64, ou 60 auquel on ajoute 4. 60 se prend en retranchant 4.

La plante shi a le nombre de l'activité; les kouas, celui de la substance. Si l'on prend la substance comme principal, on laisse un chiffre; si la substance fait de l'activité sa base, alors on laisse 4. Le cercle est naturellement 1, le carré est quadruple. C'est pourquoi la shi laisse 1, et les kouas retranchent 4.

7. Si l'on ajoute ce nombre resté en trop à celui qui est indiqué par le sort

[1] Deux tableaux présentant les nombres 1 à 9 et 1 à 10 dans une certaine position pour produire des sommes régulières. Le sens en ayant été perdu, on en fit des tablettes mystiques, sorties des fleuves, portées sur le dos d'animaux merveilleux. (Voir mon *Yih-king*, pp. 28, 29.)

[2] Cette assertion est absolument fausse, bien qu'elle soit universellement admise en Chine. Ces tableaux et le Yih n'ont rien de commun. Seulement, depuis qu'on a attribué les nombres impairs au yang et les nombres pairs au yin, on a voulu retrouver ces deux principes dans les chiffres pairs ou impairs des tableaux.

[3] Tout ceci est du pur arbitraire.

[4] La plante qui sert à la divination et passe pour avoir cent tiges.

[5] 8 est le nombre des trigrammes, base des kouas qui sont au nombre de 64.

[6] Parce que le ciel est rond. Cette vertu de la *shi* est encore de pure fantaisie.

Digitized by Google

et que l'on ait 5 et 4 + 4, la planchette divinatoire 策 donne alors 4 et 9 [1]. Si l'on a 9 et 8 + 8, la planchette donnera 4 et 6.

Si avec 5 on a 8 . 8; ou avec 9, 4 et 8 pour les deux cas, la planchette donnera 4 et 7. Si c'est 9 et 4 + 4, ou 5 et 4, 8, la planchette aura 4.8 [2].

8. Si de 5 avec 4 + 4 on retranche un chiffre donné par le sort, pour 4 × 3 on a 12 [3]. Si de 9 et 8 + 8 on enlève le nombre 1 tiré au sort, pour 4 × 6 on a 24.

Si de 5 et 8 . 8 ou de 9 et 4 . 8 on retranche le nombre 1 tiré, une fois, de 4 × 5 on a 20. (5 + 8 + 8 = 21 ; 9 + 4 + 8 = 21 — 1 = 20 [4].)

De 9 et 4 + 4 ou 5 et 4 + 8 on a 4 × 4 ou 16. (9 + 4 + 4 et 5 + 4 + 8 = 17 — 1 = 16) [5].

Ainsi, retranchant 3, 4, 5 ou 6, les nombres 9, 8, 7, 6 de la planchette (la planchette de 9, 8, 7, 6) sont achevés.

9. Le Premier Principe s'étant divisé, les deux substances (*i*) [6] furent constituées; le yang placé en bas rencontrant le yin, le yin placé en haut et rencontrant le yang, les quatre formes se produisirent.

Le yang s'unissant au yin et le yin au yang, les quatre formes du ciel s'étant produites, le fort s'étant uni au faible et le faible au fort, et les quatre formes de la terre étant constituées, les huit kouas furent achevés. Les huit kouas s'étant entremêlés, tous les êtres naquirent

Ainsi le *un* divisé devint deux; deux divisé devint quatre; quatre divisé devint huit; huit divisé devint seize; seize devint, de même, trente-deux, et trente-deux, soixante-quatre. Cela se fit comme de la racine naît le tronc;

1 5 + 4 = 9; de là 9 et 4; 9 + 8 + 8 = 25; 4 × 6 = 24, c'est-à-dire 25 — 1.

2 5 + 8 + 8 = 9 + 4 + 8 = 21; 9 + 4 + 4 = 5 + 4 + 8 = 17.

3 5 + 4 + 4 — 1 = 12; 4 × 3 = 12.
9 + 8 + 8 — 1 = 24; 4 × 6 = 24.

4 5 + 8 + 8 = 21; 9 + 4 + 8 = 21 également; 21 — 1 = 4 × 5 = 20.

5 9 + 4 + 4 = 17; 5 + 4 + 8 = 17 aussi; 17 — 1 = 4 × 4 = 16.
Ce sont des calculs faits avec les branches prises de la plante *shi* selon certaines règles et des nombres tirés d'une planchette où ils sont marqués dans un certain ordre.

6 Le yang et le yin ; nous avons ici de nouveau le mode de formation des êtres arrivant d'abord aux huit trigrammes des kouas que Shao-tze prend encore pour des entités. 64 est le nombre des kouas ou des sections du Yih-king.

Digitized by Google

du tronc, les branches et des branches les feuilles. Le plus grand devint le plus petit [1], et le plus restreint devint le plus étendu.

10. Le *k'ien* et le *kven* fixent les positions (commencent la série). *Tchen* et *siuen* s'y ajoutent en premier lieu. *Tui, li, k'en* et *ken* s'y adjoignent ensuite. Aussi il y a peu de yang dans *tchen* et beaucoup de yin; dans *siuen,* il y a peu de yin et beaucoup de yang. Dans *tui* et *li* il y a progressivement beaucoup de yang, et dans *k'en, ken,* beaucoup de yin. De cette manière, l'éther et le feu n'y paraissent pas [2].

11. *Tchen* s'étant, au commencement, uni au yin, le yang naquit; *siuen* ayant amoindri le yang, le yin naquit. Le yang grandit en *tui* et le yin en *ken*.

Tchen et *tui* sont le yin se trouvant dans le ciel; *siuen* et *ken* sont le yang de la terre. Ainsi *tchen* et *tui* ont le yin en haut et le yang en bas; *siuen* et *ken* ont le yang en haut et le yin en bas.

Le ciel, comme il a été dit, dès sa première origine, avait le yin en haut et le yang en bas; leur rencontre et union est le principe du koua *tai* [3]. La terre, quand elle fut achevée, avait le yang en haut et le yin en bas, ce qui est la place convenable du supérieur et de l'inférieur.

12. Dans *k'ien* et *kven* [4], les positions convenables du supérieur et de l'inférieur ont été établies fermement. Dans *li* et *ken* les issues (portes) des côtés gauche et droit l'ont été de même. Ainsi le ciel et la terre furent fermés et ouverts; le soleil et la lune se levèrent et se couchèrent (sortirent et rentrèrent), et conséquemment le printemps, l'été, l'automne et l'hiver eurent leurs places, se succédèrent immédiatement, grandirent et diminuèrent; la longueur variable des jours et des nuits et le cours des saisons et des astres furent fixés et suivis.

[1] En se divisant.

[2] Nouvelle explication fantaisiste des opérations des kouas-trigrammes pris comme des substances existantes et opérantes :

K'ien, ciel, et *kven,* terre, sont le premier et le dernier et posent ainsi les deux termes. *Tchen* est le tonnerre; *siuen* est le vent (et le bois); *tui* est l'eau terrestre; *li,* le feu, et *k'en,* l'eau céleste (ainsi que la lune). Enfin *ken* représente les montagnes. En ceux qui ont « beaucoup de yang » il y a deux lignes pleines ——— et une brisée — —.

[3] *Tai* est un koua hexagramme du Yih-king; il signifie « union, pénétration réciproque »; de là la fonction qui lui est attribuée ici.

[4] *Kven* est tout au bout (en bas) comme doit être la terre. *Li,* feu céleste, et *ken,* montagnes; les astres (de feu) paraissent et disparaissent au-dessus et sous les montagnes.

Digitized by Google

13. Avant le principe sans principe, le yin concentrait le yang; après que les formes eurent été produites, le yang divisa le yin. Le yin fut la mère du yang; le yang fut le père du yin. La mère qui nourrit un illustre fils, ce fut le koua *fou*. Le père qui engendre une fille distinguée, c'est le *k'eou*. Ainsi le yang dérive du *fou* 復 et le yin du *k'eou* [1].

14. Le yang ne peut subsister seul; ce n'est qu'après s'être uni au yin qu'il l'a pu. C'est pourquoi il tient le yin comme la chose essentielle, suprême. Le yin ne peut se manifester sans le yang; c'est pourquoi il attend le yang pour cela et le met au-dessus de tout. Le yang, connaissant son moyen de commencement, a su en obtenir l'achèvement. Le yin, suivant le modèle du yang, a su mener à fin tout travail, tout effort.

15. Le yang connait, le yin ne connait point. Le yang peut voir (ou être vu) et le yin pas. Connaître et voir sont le fondement de l'être; c'est pourquoi la nature est dans le yang et non dans le yin (ou : le yang est l'être par nature, et le yin, le non-être). Le yang ne peut s'achever complètement; le yin est tout achevé. Le yang se meut; le yin est perpétuellement immobile. Étant tout achevé, existant perpétuellement, il est réel. Aussi la substance du yang est vide; celle du yin est réelle [2].

16. Là où il y a changement, il y a correspondance. Aussi ce qui change intérieurement se met en harmonie avec l'extérieur et vice versa. Ce qui change en bas se met en harmonie avec ce qui est en haut et le contraire. Le ciel changeant, le soleil s'y conforme. En cela, ce qui change se modèle sur le ciel; ce qui s'harmonise se modèle sur le soleil. C'est ainsi que le soleil règle le cours des étoiles et que la lune s'unit à l'éther, que l'eau naît de la terre, que le feu se cache dans la pierre, que les volatiles perchent sur les arbres et que les courants restent dans les plantes. Ainsi le cœur et les poumons s'unissent; le foie et le fiel se pénètrent.

[1] Nouvelle explication cosmogonique. La vertu spéciale du yin est de réunir, tenir ensemble et enfermé. *Fou* et *K'eou* sont deux hexagrammes du Yih-king. *Fou* signifie répéter, rétablir, mais il est souvent pris pour *fou*, nourrir, couver. *K'eou* est l'union matrimoniale engendrant.

[2] Explication de la nature du yang, très différente de tout ce qui est dit ailleurs. Nulle part on ne voit le yin constitué comme supérieur au yang. Shao-tze développant la notion de ces deux entités voit dans le yin la substance et dans le yang la force. C'est pourquoi il traite son essence de *vide*.

Digitized by Google

Il n'est rien d'autre que cela; c'est la loi des changements et des unions.

17. Les êtres qui vivent sur la terre sèche se complètent par ceux qui sont dans l'eau, comme l'ombre et le corps [1]. Les êtres nombreux qui courent sur la terre ou volent dans l'eau s'entre-croisent (*forgosolombi*). Aussi les êtres qui sont grands sur la terre sont petits dans l'eau et vice versa [2].

Commentaire. — Volant dans l'eau : comme les oiseaux et animaux à écailles; courant dans l'eau : comme les animaux à carapace (tortues, crabes, homards, etc.). Vivant sur la terre : le coq est grand; la poule est petite. Vivant dans l'eau : le poisson femelle est grand; le poisson mâle est petit.

18. Les animaux volants mangent les arbres; les animaux courants mangent les herbes. Les hommes réunis mangent les volatiles et les animaux courants. C'est pourquoi ils sont fort élevés au-dessus des autres êtres.

19. Le ciel a quatre saisons; la terre a quatre régions. L'homme a quatre membres. Cela étant, il peut voir le ciel dans une phalange du doigt [3] et considérer la terre dans les lignes de la main [4]. Le principe du ciel et de la terre se montre complet dans le doigt et la paume de la main. Peut-on ne pas les considérer avec soin?

Commentaire. — L'homme a cinq doigts; le gros doigt est analogue à la terre. Les quatre autres ont douze phalanges, ce qui, doublé, donne vingt-quatre. Les quatre doigts et les douze phalanges représentent les quatre saisons et les douze mois. L'index est le printemps; le médius est l'été; le doigt sans nom est l'automne, et le petit doigt, l'hiver. Les jours sont courts en hiver et longs en été, égaux au printemps et en automne [5]. Ainsi les quatre doigts représentent les saisons.

[1] Mandchou, *l'ombre est semblable au corps*.

[2] Application implicite du principe de l'harmonie universelle. (Voir ci-dessus, p. 36.)

[3] Voir le commentaire. Chaque main a douze phalanges (le pouce non compté); les deux mains en ont vingt-quatre, ce qui est le nombre du ciel.

[4] Haute en arrière, basse en avant, elle représente une montagne et le cours des fleuves (par ses lignes) et ainsi figure la terre. (Commentaire de Wu-tcheng.)

[5] Le médius est plus grand, l'auriculaire très petit, l'index et l'annulaire sont égaux.

Digitized by Google

20. L'esprit domine dans le cœur [1]; le souffle vital *khi* dans les intestins, et la figure dans la tête. Lorsque la forme et l'esprit vital s'unissent [2], l'esprit domine dans le composé. Telle est la loi de ces trois énergies.

21. Le soleil et la lune se mangent (s'éclipsent) mutuellement s'ils se rencontrent dans leurs nombres. Si le soleil alors se trouve devant la lune, la lune est éclipsée. Si la lune cache le soleil, alors le soleil est éclipsé. Absolument comme l'eau et le feu se vainquent mutuellement. C'est pourquoi les hommes supérieurs font surtout usage des principes de sagesse et les gens vulgaires de leur force.

Commentaire. — Le soleil et la lune étant ainsi en opposition mutuelle, cela s'appelle être face à face (*solombi*). Quand ils se rencontrent, c'est être au même endroit. Le soleil s'éclipse ordinairement au commencement de la lunaison et la lune vers le 15.

L'eau triomphe du feu en le recouvrant et l'opprimant; ainsi les gens vulgaires triomphent par la force. Le feu triomphe de l'eau en séparant les particules, ce qui représente la sagesse (Tchang-Min).

22. Le soleil tourne en suivant la voûte céleste; la lune tourne en suivant le soleil. Les étoiles se montrent suivant la lune. Ainsi les étoiles se règlent sur la lune, la lune sur le soleil et le soleil sur le ciel.

Le ciel est moitié brillant et moitié obscur. Le soleil est moitié s'étendant, moitié se contractant [3]. La lune, par moitié aussi, grandit et diminue. Les étoiles sont moitié en mouvement et moitié immobiles. C'est là la loi du yin et du yang.

Le ciel se voit et le jour et la nuit. Le soleil se voit le jour. La lune, bien qu'on la voie la nuit, se cache aussi partiellement la nuit. Les étoiles se voient à moitié la nuit. Telle est la condition de ce qui est élevé et bas.

1. Le mandchou a le contraire : *simen de niyama uherilembi.*

2. Par la formation de l'homme. L'esprit est ici *shen,* qui désigne bien la puissance intellectuelle.

3. Selon la longueur des jours. Tout étant formé par la combinaison du yin et du yang, participe de leurs natures, l'une lumineuse, mobile, développant; l'autre obscure, immobile, contractant tout.

Digitized by Google

23. Qui a l'intelligence possède la parole; dès qu'il se produit une parole, il y a une forme visible. Dès qu'il y a forme visible, il y a nombre. Quand il y a nombre fixé, il y a forme visible; dès que cette forme se produit, il y a parler. Dès qu'on parle, il se manifeste une pensée.

Ainsi la forme et le nombre sont les filets et les pièges; la parole et la pensée sont les poissons et les lièvres [1]. Pour prendre ceux-ci on emploie les filets et les pièges; sans eux cela serait impossible.

24. L'homme suit le ciel dans ses changements; ainsi les quatre principes d'action : commencement, développement, affermissement (adaptation) et achèvement sont les révolutions et évolutions expliquées dans le Yih-king [2].

Quand l'homme agit, le ciel correspond à son acte; ainsi le bien et le mal, le repentir et le blâme [3] sont les convenances du Yih.

Lorsque le principe et le développement changent, l'affermissement et l'achèvement s'y conforment. De même, selon que se produisent le bien et le mal, le repentir et le blâme se modifient.

En tout commencement qui est bon, le bien y correspond en l'affermissement. Si le développement est mauvais, l'achèvement y correspondra. Le repentir est bon, le blâme est mauvais, fâcheux [4]. Ainsi dans ces changements il y a correspondance convenable, et par la correspondance il y a les changements nécessaires.

La correspondance, la convenance dans les changements, c'est la loi du ciel. Aussi lorsque le principe change, le développement correspond; lorsque l'affermissement change, l'achèvement correspond.

Le changement dans la correspondance est le caractère des affaires, des actes

[1] La pensée est renfermée dans la parole et celle-ci dans son mode de manifestation, la forme extérieure des mots, ce qui les communique aux sens et ne peut exister sans nombre. (*Omnia in numero fecisti.*)

[2] Ces quatre stades de l'existence et du développement des êtres expliqués au *Tong-shuh*, sont constamment employés dans le Yih-king pour indiquer la fortune des choses humaines, le sort des entreprises, les résultats des actes.

[3] Ces quatre termes servent également dans le Yih à caractériser la nature des actes et de leurs conséquences.

Le repentir fait éviter les fautes futures; le regret provient du mal; seul, il cause de la peine sans produire le bien, sans corriger.

[4] Le ciel change à cause de la convenance du changement; la convenance précède. L'homme, au contraire, change sans convenance et celle-ci ne vient qu'après, par nécessité.

Digitized by Google

de l'homme[1]. Ainsi il peut y avoir mal dans le changement et bien dans la concordance; il y a regret dans le changement et repentir dans la concordance [2].

Le repentir est l'antécédent du bien; le blâme est la base du mal.

C'est pourquoi les hommes supérieurs se conforment au ciel et non aux hommes.

25. Les kouas *k'ien* et *kven* sont les fondements du ciel et de la terre. Le *li* et le *k'en* sont les modes d'action de ces deux puissances. C'est pourquoi le *k'ien* et le *kven* commencent le Yih-king; le *li* ainsi que le *k'en* sont au milieu, et *ki tshi, wei tshi* sont à la fin [3].

20. Kven contient trois filles[4] au sud-ouest, et k'ien trois garçons au nord-est. Le yang du ciel est au midi et son yin au nord. Le yin de la terre est au midi et son yang au nord. Le yang de l'homme est en haut et son yin en bas. Lorsqu'ils se sont adaptés l'un à l'autre, le yang passe en bas et le yin en haut.

27. La première ligne est comme celle d'en haut, mais le haut étant fixe et arrêté [5], il n'atteint pas l'avancement de la première. La seconde ligne est comme la cinquième, c'est pourquoi le milieu du yin de la seconde n'égale pas le milieu du yang de la cinquième.

La troisième ligne est semblable à la quatrième, c'est pourquoi la troisième ligne étant la plus haute du trigramme inférieur n'égale pas la quatrième quant à la proximité du prince [6].

28. La sève [7] du ciel est dans le soleil; celle de l'homme se fait jour dans

[1] Le changement peut être mauvais, mais une fois opéré on doit en suivre les exigences et la convenance.

[2] Il y a regret pour la faute et le repentir de cette faute fait opérer la convenance comme il fait faire le bien dont il est ainsi l'antécédent.

[3] Nouvelles divagations sur les kouas. *K'ien* et *kven* sont ceux du ciel et de la terre; *li* et *k'en* représentent la lumière et l'obscurité. Ce sont les 29e et 30e kouas; ils occupent ainsi à peu près le milieu des 64; *ki-tchi* et *wei-tchi* indiquent l'action, l'entreprise presque achevée et entièrement achevée.

[4] Les trois filles sont les lignes coupées, — —; les garçons sont les lignes pleines, ——.

[5] Explication de la valeur des hexagrammes : le trigramme d'en bas correspond ligne à ligne au trigramme d'en haut, mais n'a pas même valeur, vu sa position en dessous. Dans l'explication de ces figures, la première ligne en bas doit être mise en rapport avec celle de tout en haut; la seconde avec la cinquième et la troisième avec la quatrième ou la première, en bas, du trigramme supérieur.

[6] La ligne d'en haut représente le prince; de là cette appréciation.

[7] Chinois *shen;* mandchou *simen.*

Digitized by Google

l'œil. Quand il veille, elle est dans le cœur; s'il dort, elle reste dans les intestins. Son imitation du ciel ne cesse ni jour ni nuit.

29. Dans les nuages on distingue l'eau, le feu, la terre et la pierre. Il en est ainsi de tout le reste, car ces quatre éléments se trouvent dans le globe terrestre et tout forme le corps de la terre (Tchang-min). La pluie provenant de cette eau coule sans interruption; la pluie du feu tombe par torrents, avec fracas; celle de la partie terreuse est large et douce; celle de la pierre tombe en grêle. Le vent de l'eau est froid, celui du feu est chaud, celui de la terre est doux, et celui de la pierre, destructeur.

Le nuage d'eau est noir; celui de feu est rouge; celui de terre est jaune, et celui de pierre est blanc. Le tonnerre d'eau gronde sourdement; celui de feu, avec fracas saccadé; celui de la terre a un roulement prolongé; celui de pierre est le plus retentissant. C'est ainsi qu'en une seule chose quatre formes existent intimement.

30. Le bois, d'entre les cinq éléments, est de la nature commune de toutes choses; le minéral sort de la pierre. C'est pourquoi le métal et le bois ne sont pas congénères aux quatre autres natures : eau, feu, terre et pierre; ils se trouvent dans une condition intermédiaire.

31. La substance (khi) entretient, développe la nature; la nature met l'esprit vital en activité; c'est pourquoi, lorsque la nature est excitée, en mouvement, le khi l'est aussi; si l'un est en repos, l'autre l'est également.

32. En toute chose, quand on a atteint les sept dixièmes de sa perfection, on peut s'en tenir là. Le jour du solstice d'été se fixe au sixième quart d'heure [1]. Prenant le moment où l'on peut distinguer la couleur du matin et du soir (on verra) qu'on en est aux sept dixièmes.

33. L'est est rouge; le midi, blanc; l'ouest, jaune, et le nord, noir. Telles sont les vraies couleurs. Qu'on le vérifie le matin, en plein jour, le soir et la nuit, et on le constatera aisément [2].

L'est est le côté du bois, il est verdâtre; le midi est couleur de feu ou rouge; l'ouest est couleur de métal ou blanc, et le nord est couleur d'eau

[1] Sixième quart d'heure. Le jour est divisé en douze heures et chacune en huit quarts. Elles commencent à 11 heures de nuit sonnées, le sixième quart d'heure est 12 $1/2$ heures.

[2] Ce qui démontre la nature des couleurs.

Digitized by Google

ou noir. La couleur intérieure de la terre est jaune. Telles sont les couleurs des substances des cinq éléments.

Le rouge de l'est, le blanc du midi, le jaune de l'ouest et le noir du nord (comme dit l'auteur) sont les couleurs de la substance de chaque parcelle de yang. Et ces couleurs s'échangent successivement. L'enfant naissant est rouge; un peu plus grand, il est blanc. L'homme malade devient jaune, et vieilli, mort, il est noir. Les êtres extérieurs nés de la terre sont d'abord rouges; quelque peu grandis, ils sont blancs; s'ils faiblissent et se courbent, ils deviennent jaunes; complètement desséchés et fanés, ils sont noirs. Tous naissent sur un yang. Tels sont les changements que subissent tous les êtres sans exception. Voici l'ordre des cinq éléments : ils commencent par le noir de l'eau, sortent du rouge du feu, passent au vert du bois et au blanc du métal et finissent dans le jaune de la terre, pour retourner au noir de l'eau.

34. Le tableau des éléments, bien qu'il soit muet, me parle constamment, et je ne m'en écarte pas; car le principe d'existence du ciel, de la terre et de toutes choses s'y trouve en son entier [1].

35. La substance *khi* est une et c'est tout. C'est le principe actif (*k'ien*) qui la domine. L'intellectuel se résume en une idée : mettant en œuvre, changeant, faisant évoluer la substance, il agit intérieurement et extérieurement entre l'être et le non-être [2], la mort et la vie, il est sans manifestation sensible; on ne peut en saisir, en prévoir la présence et les actes.

36. Ignorant le *k'ien*, le principe actif, on ne peut comprendre le principe de la nature et du destin.

La bonté, lorsqu'elle égale le ciel et la terre, fait l'homme. Ceux qui ont cette vertu peuvent seuls être appelés vraiment hommes.

37. La substance *khi* est comme le siège du principe spirituel; le corps est celui de la substance [3]. La lune est l'ombre du soleil, et la pensée est l'ombre de la nature. Le cœur, la volonté sont le Premier Principe [4]; la loi rationnelle (*tao*) reçoit aussi ce nom (*tai-kih*).

[1] Le tableau II. (Voir plus haut.)

[2] L'intellectuel touche au non-être, c'est-à-dire à l'infini imperceptible et à l'être visible qu'il régit. Il gouverne l'homme dans la vie et la mort.

[3] La substance se réalise, s'actualise par le corps.

[4] En ce qu'il détermine les actes, est cause des productions et créations. La loi est premier principe en tant que raison dernière de la constitution des êtres.

Digitized by Google

38. Du loup qui niche dans l'herbe, le poil est comme la tige d'une herbe. L'oiseau qui niche sur un arbre a les plumes semblables aux feuilles d'arbre. Il en est ainsi de tout ce qui est d'une même catégorie.

39. Lorsqu'un arbre a porté un fruit et qu'on le plante, celui-ci produit un nouvel arbre qui produit du fruit. Bien que ce nouvel arbre ne soit pas l'ancien, le principe vital de l'arbre ne s'est pas doublé ou séparé en deux. Tel est le vrai principe de la naissance et de la génération.

40. Si l'on réjouit un être ou si on le peine selon sa nature, cet acte est conforme au droit et aux principes.

Quand il y a un sentiment personnel, il y a une intention; cette intention se dérobe; ainsi dérobée elle est obscure, inaperçue [1]. Ce qui cause l'existence des êtres est la nature; cette nature existant, elle a son principe suprasensible. Ce principe existant est lumineux. Ce qui embrasse le ciel et la terre, qui sans marcher atteint tout, qui n'est point enveloppé dans le yin et le yang, c'est le principe suprasensible [2].

41. Ce qui vit dans l'eau ne ferme pas les yeux. Ce qui est dans le vent, les ferme. Les animaux courants ont les paupières supérieures qui se portent en bas. Les animaux volants ont les paupières inférieures qui se portent en haut pour se fermer [3]. Il en est ainsi des espèces différentes.

42. La doctrine du ciel primitif est dans le cœur, celle du ciel postérieur est dans ses manifestations [4].

Le principe suprasensible est ce qui domine en l'homme. Quand l'homme dort, il se tient dans la rate; dans le sommeil profond, il est dans les intestins. Quand on s'éveille, il passe dans le foie; quand on est tout à fait éveillé, il se tient dans le cœur.

En cela il suit les quatre saisons : printemps, etc. (Tchang-Min). Le printemps dans le foie, l'hiver dans les intestins, etc.

43. La concordance du ciel et de la terre est de trois à dix.

Commentaire. — Comme il a été dit plus haut, le jour du solstice d'été

[1] L'intention pure est invisible, imperceptible.
[2] C'est cette loi rationnelle qui donne sa nature et sa fin à tout être.
[3] Ainsi tout est ordre et concordance dans la nature.
[4] De même que le cœur est l'origine des manifestations.

Digitized by Google

arrive aux sept dixièmes; c'est pourquoi trois dixièmes est le nombre de la rencontre.

44. Tout ce qu'il y a de bon ou de mauvais en l'homme se manifeste dans le parler et se réalise dans les actes. Par là les autres peuvent le connaître. Ce qui se produit dans le cœur et se manifeste uniquement dans la pensée, les esprits seuls peuvent le savoir. C'est pourquoi les hommes supérieurs leur gardent tout leur respect.

45. Le suprasensible de l'homme est celui du ciel et de la terre. L'homme, en se trompant lui-même, trompe le ciel. Combien ne doit-on pas le craindre!

Le cœur étant seul et non divisé peut correspondre à mille transformations. C'est pourquoi les hommes supérieurs gardent leur cœur vide et sans mouvement de passion.

Les six Kings des saints étant sans forme extérieure, ni traces, sont conformes à la nature du ciel. Aussi le Tchun-tsiou [1], relatant la vérité pure, le bien et le mal sortent de son sein (s'y étant formés).

46. Silencieux et sans mouvement, retournant à sa racine et y reprenant son repos, telle est la condition du koua *kven* (représentant la terre).

Mis en mouvement, pénétrant le principe d'existence du monde subcéleste, se mouvant dans le sein du yang et ne laissant aucun intervalle, pas même de l'épaisseur d'un cheveu, telle est la nature du koua *fou*.

47. Quand on pénètre tous les principes d'équité, on connait parfaitement la nature; quand on a parfait sa nature, alors on connait le décret céleste. Quand on le connait, la science est à son terme.

Si une perte est supérieure à un gain, ce gain ne donne pas de joie. Si même un gain est supérieur à une perte, celle-ci n'en est pas moins difficile à supporter et l'on tombe dans la faiblesse.

48. Lorsque l'homme est en possession de ses facultés pleines, alors il ne doit plus s'adonner vicieusement à la joie ou à la colère. Qu'il soit haut fonctionnaire ou simple particulier, et que son instruction s'élève au-dessus du monde, il est comme s'il n'était rien (s'il n'a pas la vertu).

[1] Histoire de Lou, attribuée à Kong-fou-tze. Il s'agit des pensées des Kings.

Digitized by Google

49. L'homme doit être grave et sérieux intérieurement; s'il l'est, il pourra être facile à l'extérieur. S'il est léger intérieurement, il sera grave et désagréable pour l'extérieur; avide de gain et de renommée, il ne s'arrêtera à rien.

50. En ce bas monde il y en a beaucoup qui disent étudier les livres, mais ceux qui savent le bien faire sont fort rares. S'ils savent goûter la vraie joie que donne le principe du ciel, quel livre ne sauront-ils point lire? Quelle force ne pourront-ils pas renverser? Quel principe ne pourront-ils pas élucider?

Le ciel et la terre, le soleil et la lune restent constamment éloignés. Aussi l'homme doit rester au loin et les considérer de loin, ne point les regarder de près.

51. Bien que des expédients habiles puissent être employés en un seul matin [1], on doit prendre son temps pour les mener à fin. La vérité pure seule peut durer avec le ciel et la terre. Si le ciel et la terre finissaient, la réalité pure cesserait. Mais si le ciel et la terre ne peuvent finir, la vérité ne le peut pas davantage.

52. Les lettrés de l'empire des Hans considéraient le retour aux principes et la conformité à la loi des êtres comme la condition de la juste mesure dans la puissance; ils prenaient un des deux côtés. Cette juste mesure consiste à équiparer et concilier le point fort et faible des choses. Les saints, agissant avec poids et mesure, tenaient compte du faible et du fort, du pour et du contre, et se bornaient à se conformer aux principes d'équité et de morale.

Aussi celui qui ne sait pas tenir ferme au milieu constant, tombe dans le vice.

Wang-tong disait que le Tchun-tsiou était l'exposé de la règle, de la loi de conduite des princes. Sans Wang-tong on ne serait pas arrivé à cette considération.

La puissance résidant dans un corps n'appartient qu'à lui; celle d'un village est la puissance du village entier; si elle s'étend au monde entier, elle est celle du monde entier. Bien que les actes soient différents, la faculté est la même partout.

[1] D'après le mandchou.

Digitized by Google

53. Le koua *fou* a été mis à la suite du *Po,* cela montre que la paix, le bon gouvernement, naissent du trouble. Le *keou* suit le *kvei*[1], cela prouve que le trouble naît de la paix. Les temps sont différents. Ce qui a été détruit se rétablit, ce qui a été divisé se réunit. Si l'on sait se garder, le royaume, la maison subsisteront longtemps; la postérité se maintiendra et prospérera. C'est pourquoi les saints estiment par-dessus tout la prévoyance. C'est là la trame principale du Yih-king.

54. La théorie du ciel primitif se base sur le cœur [2]. C'est pourquoi, dans le tableau, on commence par le milieu. Toutes les créations, toutes les affaires naissent du cœur.

Les gens qui comprennent le Yih-king ne suivent pas les explications des commentaires. Ceux-là peuvent être tenus pour le connaître parfaitement. Meng-tze, dans ses discours, ne mentionne jamais le Yih-king, mais ils renferment tous les principes de ce livre. Les hommes qui l'ont lu sont rares, mais ceux qui le mettent en pratique sont les seuls qui le connaissent vraiment. Tout ce qui ressemble à Meng-tze peut être regardé comme sachant le mettre en pratique.

55. Les cinq Pas sont au sommet des mérites et à la base des fautes [3].

Le Tchun-tsiou est le livre d'avertissement donné par (de règles tracées par) Kong-tze. Le mérite et les fautes ne s'y couvrent pas l'un l'autre [4]. Les saints, avant tout, relèvent les mérites, puis après blâment les fautes, et si même un coupable a su faire quelques bonnes actions, ils les rapportent sans omission. Car on ne doit pas être sans indulgence.

59[5]. La sagesse est-elle difficile à acquérir? C'est quand on se trouve dans une occurrence grave, difficile, que l'on en sent la difficulté. La sagesse, c'est la nature excellente du ciel; apprendre, c'est se mettre en état de la pratiquer.

Jadis on n'enseignait, on n'étudiait point, et cependant on pouvait faire des actes méritoires; pourquoi alors parler d'étude? (La réponse est facile)

[1] *Fou* est la restauration; *po* est l'oppression; *kvei* est le règlement d'un différent.

[2] Cp. 42, note.

[3] Leur position les appelle aux actes les plus méritoires, mais les expose aux fautes; ou : les oblige à les punir et déraciner.

[4] Les mérites n'effacent pas les fautes, n'empêchent pas de les relater, et le contraire.

[5] Les §§ 56-58 ne sont qu'une discussion sur le Tchun-tsiou, dépourvue de tout intérêt.

Digitized by Google

Tcheou Po et Ho Kouang[1] surent faire de grandes choses, sans avoir étudié, cela est vrai; mais par cela même ils ne purent porter le bien à sa perfection. L'homme qui n'a pas d'instruction ne peut faire briller les principes ni conséquemment les comprendre dans toute leur étendue et s'y tenir avec fermeté.

60. Quand on cherche à s'instruire et à former son cœur, on s'afflige si l'on ne peut suivre constamment la voie droite. Si l'on parvient à se débarrasser des désirs du gain, à suivre la voie droite et à faire le bien d'une manière parfaite, on arrivera à tout. La loi du ciel et de la terre est tout entière dans la droiture; on doit la rechercher sincèrement.

Si on la recherche par des détours et des artifices habiles, c'est résister aux lois du ciel et suivre les passions humaines. Peut-on dire que c'est sans difficulté?

61. Il n'y a dans les affaires (de ce monde) ni chose grande ni petite; tout y est principe rationnel du ciel et de l'homme. Se gouverner soi-même est l'œuvre de l'homme; le succès ou l'insuccès est l'œuvre du ciel. Le bonheur et le malheur ne doivent point émouvoir le cœur; on doit (en tout) se conformer au ciel (et à sa volonté). Chercher la fortune par des moyens dangereux, c'est aller contre le décret du ciel. Chercher est de l'homme; acquérir ou pas est du ciel. Ne point s'émouvoir du succès ou de l'insuccès, c'est suivre le ciel. Tenir obstinément à ce qu'on a obtenu par des efforts, c'est violer la loi du ciel. Cette violation attire infailliblement les afflictions et les malheurs.

62. Les esprits célestes et terrestres sont sans forme apparente et sont tout activité. Mais leur sentiment et leur approche peuvent être connus; quand ils agissent, on les voit par leurs actes.

Ainsi les yeux, les oreilles, le nez, la bouche, les pieds et les mains de l'homme; la tige, les feuilles, les fleurs et les fruits, la couleur et l'apparence des arbres et des plantes sont l'œuvre des esprits[2].

[1] *Tcheou po*, général et ministre de l'empereur *Wen-ti* des Hans, écrasa la rebellion excitée par l'impératrice *Lu*.

Ho-kuang, ministre de *Wu-ti* (140-86) et généralissime, prit la régence pendant la minorité de *Kao-ti* (86-73), puis fit mettre sur le trône le neveu de ce dernier, *Siuen-ti*, et continua à administrer les affaires de l'État jusqu'à sa mort (68).

[2] On ne sera pas peu surpris de trouver ici cette opinion qui contredit tout ce qui est dit précédemment. L'intervention des esprits n'est supposée nulle part ailleurs dans le Sing-li.

Digitized by Google

Qui est maître de donner la prospérité au bon et le malheur au méchant? Qui donne l'intelligence, le jugement, la droiture, l'équité? Qui peut atteindre promptement sans se presser et arriver sans marcher? Tout cela est le propre de l'intelligence et de la substance des esprits.

63. Diriger, selon les principes, les affaires du ciel et de la terre s'appelle capacité. Viser au loin et y atteindre c'est l'intelligence, l'intention; contenir, embrasser tout, c'est la capacité. Ces lois ont commencé avec Fo-hi; elles ont été parfaites par Yao, changées par les trois Wangs, portées à l'extrême sous les cinq Pas, rompues sous les Tchin [1]. La paix et le trouble de tous les siècles n'ont point d'autre cause.

66 [2]. Le ciel nous faisant participants de lui-même est ce qu'on appelle le destin. Le destin existant en nous s'appelle nature. La nature existant dans les choses s'appelle *li*. Pourrait-on dire que la doctrine de Bouddha, négligeant les devoirs du prince et des sujets, du père et du fils, de l'époux et de l'épouse, est le vrai principe rationnel?

Le yin est l'ombre du yang, l'âme (mâne) est l'ombre de l'homme. Les expressions : sans intention, sans décision (*pi, urunakó*), sans obstination, sans égoïsme, peuvent être réunies et ne former qu'une pensée; ou être séparées, ou bien, réunies; former deux et, séparées, former quatre. Commençant à l'intention, on finit par l'égoïsme. Quand il y a intention, il y a conséquence, décision; la décision naît de l'intention. Quand il y a fermeté, solidité, il y a égoïsme; celui-ci naît de la ferme consistance.

L'intention (la volonté et la pensée) sont le cœur; la décision, la solution, est ce qui détermine d'avance; la fermeté, la solidité, est ce qui ne change pas; l'égoïsme est le soi, le sentiment personnel. La connaissance des principes n'est point stable. C'est pourquoi Wang tong dit : (c'est seulement) lorsque le corps est mort que l'on en a fini.

[1] La dynastie qui remplaça les Tcheou après le renversement du dernier souverain de cette race en 255.

[2] Ce traité, assez décousu déjà, se termine par quelques réflexions qui n'ont pas grand rapport avec ce qui précède, mais résument certains principes, essentiels aux yeux de l'auteur, et quelques considérations psychologiques très subjectives conduisant à la maxime finale : la nécessité de travailler à sa perfection jusqu'à la mort.

Digitized by Google

LIVRE IV.

Résumé de tous les systèmes postérieurs aux écrits des grands maîtres de l'école.

LIVRES DU SING-MING ET DU LI-KHI.

(Nature et destin. — Loi rationnelle et substance.)

INTRODUCTION.

Les deux derniers livres de notre recueil, le *Sing-ming* et le *Li-khi*, comme il a été dit plus haut, ne sont point des traités originaux sortis de la main d'un maître, mais des compilations faites par les rédacteurs du *Sing-li tsing-i* et résumant les enseignements multiples et divers de nombreux lettrés dont les écrits illustrèrent les temps de la dynastie des Songs. Ce sont les résumés de ces différents traités, pleins de longueurs, de puérilités, voire même de contradictions, qui formaient la majeure partie du *Sing-li ta-tchouen*.

Les auteurs du nouveau recueil ont élagué non seulement tout le superflu, mais aussi tout ce qui sentait l'hétérodoxie et s'éloignait soit des principes traditionnels de l'antiquité anté- et postconfucéenne, soit des doctrines des premiers maîtres de la nouvelle école de Tcheou-tze. Ces auteurs ont pratiqué largement l'éclectisme tout en se rapportant avant tout aux deux grands docteurs de l'école : Tcheng-tze et Tchou-hi, principalement à ce dernier (voir la 1re Introduction, 1 *c. m.*), comme ils le déclarent eux-mêmes.

Les noms des philosophes dont les écrits ont été mis à contribution sont le plus souvent indiqués; souvent aussi leurs théories sont reproduites sans désignation de la provenance; c'est qu'alors, sans doute, les emprunts ne

Digitized by Google

sont plus des citations plus ou moins textuelles, mais un simple exposé de leurs idées, formulé par les rédacteurs eux-mêmes. Il n'est donc pas sans intérêt de connaître les noms de ces compilateurs, dont l'œuvre n'est pas dépourvue de mérite personnel et vaut autant que leur perspicacité et leur talent.

Le Sing-li tsing-i en donne la liste complète avec leurs titres et qualités; nous la reproduisons ici intégralement. Ce sont :

1° Directeur, surintendant de l'ouvrage entier :

Li Kuang-Ti, membre du tribunal des Rites, secrétaire du Grand conseil impérial, noble (*kien*), membre de la Haute cour civile.

2° Inspecteurs, reviseurs généraux, sous la direction impériale :

Wei ting ts'en, lecteur de l'Académie des Han-lin;
Ho-koue-tzong, auditeur de l'Académie des Han-lin;
Ou Hiao-tong, inspecteur de l'Instruction, gradué de l'Académie;
Mei kiao tcheng, membre (compilateur) de l'Académie.

3° Auteurs et rédacteurs spéciaux :

Yang ming-shi, inspecteur du Pet-che-li, auditeur de l'Académie;
Peng-wei-sin, gradué des Han-lins de 1re classe;
Tong-hong, id. id.
Tzai Shi yuen, id. de 3e classe.

4° Reviseurs :

Ituri [1]; inspecteur général assistant du bureau des Finances des bannières au Ministère de l'Intérieur;
Tchangju, inspecteur général, chef de bataillon;
Li-koue-ping, inspecteur général;
Pashi, inspecteur et chef de compagnie.

La simple mise par écrit a été faite par douze docteurs de l'Académie des Han-lin, dont les noms importent peu.

On voit quelle importance l'empereur Kanghi attachait à la composition

[1] Nom mandchou. (Chinois, I-tu-li.) Il en est de même de *Tchangju* et *Pashi*.

Digitized by Google

du recueil philosophique. Il a même fait plus que cela, s'il faut en croire la préface écrite de sa main, car il s'y vante d'avoir défini et précisé lui-même bien des points du *Sing-ming* et du *Li-khi* qui n'avaient pas été expliqués antérieurement. (Voir cette préface, *circa finem.*)

Les commentaires de ces deux derniers livres ont été puisés dans une foule d'ouvrages dont plusieurs nous sont inconnus. Les rédacteurs, désignés par le souverain lui-même, ont pris par-ci, par-là, ce qu'ils trouvaient de mieux et ne se sont pas fait faute de donner parfois des explications à eux propres. Nous ne pouvons entrer dans aucun détail à ce sujet, on le verra par la suite.

Remarquons seulement ce fait étrange que, tout en protestant de leur respect, de leur fidélité absolue pour les principes des Kings et du Grand Philosophe, que les lettrés chinois ont pour ainsi dire divinisé, ils professent des principes ontologiques qui sont tout l'opposé des croyances antiques, conservées encore en partie par Kong-fou-tze, et ont même puissamment contribué à les détruire dans leurs derniers restes. Ils ont l'air de ne point le soupçonner. Il est vrai qu'ils se rattachent au Yih-king et qu'ils croient ce livre l'œuvre des saints des âges passés.

C'est ainsi que Shang-ti et toute autre divinité ont disparu de leurs systèmes, où nous voyons à l'origine des choses le Tai-kih ou le Grand-Vide qui en sont la négation.

Nous ne pouvons donner ici un exposé adéquat des principes développés dans nos deux derniers ouvrages, ce serait tomber dans des répétitions fastidieuses. Quelques mots suffiront comme introduction à notre traduction.

Le *Sing-ming* s'attache principalement à donner une idée exacte de ce qu'est la *Nature*. C'était là une question vivement agitée par les philosophes de l'Empire des Fleurs. Les uns, avec Meng-tze, proclamaient que la nature est essentiellement bonne, que les passions seules la pervertissent quand l'homme écoute leur voix. D'autres, avec Siuen-tze (III[e] siècle A. C.) la déclaraient, au contraire, radicalement mauvaise et argumentaient des mauvais penchants et des crimes nombreux que tous les âges avaient vu commettre.

Nos auteurs tiennent la voie du milieu et voient dans la nature à la fois le bien et le mal.

Digitized by Google

Un second point qui préoccupait également les esprits, c'était la nature du *ming*, destin céleste, part de biens et de maux attribuée à chaque individu par Shang-ti, ou le ciel selon l'ancienne croyance. On sait quel rôle joue ce destin dans le Shuh-king, par exemple, où le sort des hommes en particulier, comme celui des princes et des empires, est attribué à son action.

Mais nos philosophes, habitués à parler du *khi*, ou substance universelle, et du *li*, principe rationnel des êtres, ne pouvaient les laisser en dehors de leurs spéculations. Ils cherchent donc ici à les définir, à les combiner avec la Nature et le Destin, et à leur assigner leur place et leur mode d'action dans la totalité de l'Être. Ils indiquent en outre leurs rapports entre eux et nous montrent, par exemple, comment le *li* reste immuable quand le *khi* s'altère.

Viennent ensuite les relations des désirs bons et mauvais avec ces quatre principes.

C'est là la partie ontologique ou métaphysique de notre traité. Une seconde partie s'occupe de l'homme, en tant que pensant et sentant, c'est-à-dire du cœur et de l'intelligence, dans leurs rapports avec la nature. Nos auteurs y expliquent l'essence du cœur, ses actes, ses tendances, ses vices même comme provenant de la nature, cet état appelé *milieu*, où il ne s'est encore élevé aucune appétition de tendance ou de répulsion, l'*accalmie* originaire du cœur humain.

La troisième partie traite des cinq vertus cardinales : bonté, justice, observance, sagesse, esprit de concorde. C'est de la morale pure, conforme aux principes professés par tous les lettrés chinois; nous n'avons pas à nous y arrêter. Ici l'on cherche à leur donner une base philosophique qu'il serait superflu de discuter. C'est ce que nous pourrions appeler la métaphysique des vertus. Mais ce traité est si inutilement long et diffus que nous avons cru devoir l'écourter, comme on le verra en son lieu et place.

Digitized by Google

PARTIE I.

Shing-Ming. — Nature et Destin.

1. — De la Nature.

Les conditions de la naissance[1] forment la nature. La nature est le khi, (sa substance), et le khi est la nature. Quand un homme naît, en sa substance, donnée du ciel, sont naturellement le bien et le mal. Cependant en naissant il n'a pas également ces deux choses en sa nature et son destin.

Dès son bas âge il est bon, dès son bas âge il est méchant; son principe et son destin sont ainsi d'eux-mêmes.

Bien que la nature soit bonne en soi, on ne peut pas dire cependant que le mal n'est point de la nature.

La nature se confond avec la naissance et l'on ne peut dire qu'elle existe avec ses facultés, avant celle-ci, avant qu'elle soit sortie de l'immobilité[2].

La nature n'est pas la personnalité, le *soi*.

Ce qu'on dit généralement être la nature est bon uniquement au moment de sa production. Meng-tze disait que la nature de l'homme est essentiellement bonne; cela peut se dire de sa première production. En cela elle peut être comparée à l'eau courante qui suit toujours une pente. S'il n'y avait que de l'eau, le courant en irait jusqu'à la mer sans se souiller jamais; l'intervention de l'homme serait inutile pour la maintenir pure.

Mais il n'en est point ainsi. Avant d'avoir parcouru un grand espace, l'eau d'une source est déjà devenue trouble insensiblement. Plus loin, elle le devient partout. Elle l'est cependant plus ou moins selon les conjonctures et, dans les variations de la clarté ou du trouble, on ne peut pas dire que ce soit l'eau elle-même qui soit immonde. L'homme doit donc apporter tous

[1] Voir l'Introduction, p. 113.
[2] La substance universelle est immobile jusqu'à ce qu'il s'y forme un être particulier.

Digitized by Google

ses soins à la maintenir pure, et quand il est parvenu à la purifier, à la rendre parfaitement claire, ce qu'il a obtenu c'est l'eau elle-même en sa vraie nature. On ne doit jamais souiller ce qui est pur naturellement, ni le laisser souillé. Cette pureté de l'eau est sa qualité naturelle [1]. On ne peut pas dire ainsi que la pureté et la souillure, le bien et le mal, existent également ensemble dans la nature. Chacun a l'un ou l'autre, selon sa conduite.

C'est là le principe rationnel (*li*) des choses, le destin céleste. Le suivre, c'est la loi de raison, c'est le moyen pour tous d'obtenir les biens qui lui sont propres.

C'est là la vraie doctrine. On ne peut y rien ajouter ni retrancher, tout comme au destin céleste. (*Extrait de Tcheng-tze.*)

Commentaire. — Tcheng-tze en dissertant ainsi de la nature, l'a fait d'une manière parfaite. Il dit d'abord que le khi est la nature. A l'origine, le khi, la nature, ce qui est donné par le ciel, est bon et mauvais. Telle est la nature véritable du khi donné du ciel. Il dit en outre que ces deux choses ne sont pas produites ensemble. D'abord il n'y a que bien et c'est tout. C'est là la nature décrétée par le ciel. Ce qui suit explique clairement cette pensée. Bien qu'on ne doive pas dire que la nature du khi n'est pas la nature *in se*, elle n'est pas la source originaire d'où est sortie la production de l'homme hors du silence primitif. Si l'on veut parler de cette source originaire, (on doit dire que) c'est le bien produit et manifesté du Yih-king [2]; c'est la nature déclarée bonne par Meng-tze, c'est l'objet du décret céleste. Comment le mal s'y trouverait-il en même temps?

Si la première production est bonne, ce sera la nature parfaite; ce sera comme la source de l'eau coulante.

Le clair et le trouble de cette eau coulante seront comme le bien et le mal de la substance produite par le ciel.

[1] Ou : représente la nature en sa bonté.

[2] Ce que le Yih-king déclare « bien » dans la plupart de ses chapitres. Cp. le *Kvān-wuh*, pp. 88, ss.

Digitized by Google

Lorsqu'elle aura été purifiée de nouveau et rendue à sa limpidité première, ce sera l'eau primitive de cette source.

Cette pureté primitive de l'eau ne peut être dépassée, augmentée; pourrait-on augmenter le bien qui est dans la nature primitive? Non.

Dans la source originaire il n'y a point de saleté avec la limpidité essentielle; le mal pourrait-il être avec le bien dans la nature fondamentale? Pas davantage.

Enfin si l'on veut établir solidement, sur la vraie doctrine, la loi des saints, on doit suivre (le principe de) la production naturelle de la nature humaine.

2. — Du Destin céleste.

1. Ce qui est donné par décret du ciel est ce qu'on appelle « le Destin », le décret céleste. Ce que nous en recevons est la nature. L'ordre qui se manifeste en toute chose est le *li* (principe rationnel et de justice). Le *li*, la nature et le décret céleste ne diffèrent pas à l'origine, fondamentalement[1]. La production achevée du *li* produit la nature complète; la nature entièrement complétée fait connaître le destin.

Le destin est en somme la loi du ciel; c'est sa mise à exécution qui constitue le destin céleste.

Le destin est ce qui engendre et perfectionne (ou change)[2]. « Ce qui n'est pas vain » désigne la nature du ciel[3].

Tous les êtres reçoivent leur part de cette nature, et l'on ne peut ni l'augmenter, ni la diminuer (en ce qu'on en a reçu).

Les médecins qui n'étudient pas à fond le principe rationnel d'existence ne peuvent en parfaire la nature par leurs dissertations sur les remèdes et la détermination des règles à suivre. Ceux-là seulement apprennent à traiter isolément toutes choses, mais ils ignorent ce qu'est leur nature après qu'elles se sont mêlées et mises en harmonie.

[1] Le destin objectif est la nature; le *li* est la condition d'existence de cette nature.

[2] La création ou production se présente à l'esprit de nos philosophes comme un changement, une modification de la substance universelle.

[3] C'est la vraie réalité, la substance réelle, non le vide où le *non*.

Digitized by Google

Ainsi le ku-tze [1] est jaune; l'alun blanc est blanc. Ces deux substances mélangées deviennent noirâtres. Sous ce noir qui se montre, le jaune et le blanc ont disparu. Deux choses mélangées produisent une troisième dans laquelle on ne peut plus distinguer les deux premières; les y rechercher, c'est ignorer la nature des êtres. Les anciens avaient étudié à fond ces lois des êtres; ils savaient quels étaient leur goût, leur odeur, leur couleur; avec quels éléments ils pouvaient se mélanger.

Le ciel a cinq éléments composants [2]; l'être qui a reçu l'un d'eux participe aux quatre autres, car tous les êtres les possèdent tous les cinq.

Ainsi les plantes et le bois, s'ils sont jaunes, participent largement de la nature de la terre; s'ils sont blancs, c'est qu'ils ont principalement la nature du métal [3].

Commentaire. — « Ce chapitre, tout en expliquant la nature des choses, indique celle de l'homme. Car après que les cinq khis [4] ont été mis en harmonie et en rapports concordants, si leur principe vient à subir quelque changement, alors le mélange, la division, l'opposition qui s'y forment produisent le bien et le mal, s'ils n'y sont pas bien réglés. »

2. L'homme a une nature intermédiaire entre celles du ciel et de la terre [5]. Le don et décret du ciel est sa nature.

Ce que Meng-tze dit « que la nature est bonne » s'applique à son fondement.

1 Ce mot désigne à la fois une sorte de noix de nature astringente et le fruit du myrobolan. Tout ceci a pour but d'expliquer comment la nature devient mauvaise; ce n'est point en son essence qu'elle se corrompt, mais par le mélange des choses extérieures que le désir, la passion satisfaite introduisent en elle. Cette nature n'est pas plus corrompue en son essence que l'eau souillée, toutefois on ne peut séparer sa substance de ce qui la corrompt et en faire deux choses distinctes.

2 Le feu, l'eau, le bois, le métal et la terre. On les trouve déjà mentionnés dans la Grande Instruction du Shuh-king. Ils sont attribués ici particulièrement au ciel, parce que dans ce traité le ciel est remis à la tête de l'univers selon l'ancienne doctrine.

3 La terre est de couleur jaune, et le métal, blanc par essence. (Voir p. 104.)

4 Les cinq *khis* sont les agents dynamiques des cinq éléments, à savoir : la chaleur, le froid, la pluie, le vent, les rayons lumineux. (Voir plus haut, p. 20.)

5 Le ciel est principalement spirituel; la terre est surtout matérielle; l'homme tient des deux.

Digitized by Google

Comme le dit Kong-tze, par nature les hommes sont proches l'un de l'autre, semblables [1]; il en est ainsi quant au destin.

La connaissance de la bonté naturelle repose sur celle des quatre principes d'action [2].

La nature ne peut être séparée du *khi* (la substance) [3]. Sans le *khi*, la notion de la nature est incomplète; sans la nature, celle du *khi* est entourée de ténèbres. On ne peut les séparer.

3. Mais la nature de l'homme, bonne et claire, évidente à l'origine, peut se troubler, se corrompre, devenir obscure pour l'œil observateur [4]. Pour comprendre cela il faut scruter attentivement. Que la nature bonne en elle-même puisse renfermer du mal, c'est l'effet des facultés.

En soi, au fond, quant au principe, l'homme le plus vulgaire est entièrement semblable aux plus sages et saints rois, à Yao et Shun. Les facultés proviennent du *khi*; celui-ci contient à la fois le pur et le trouble, le bien et le mal.

Celui en qui l'élément pur a été départi est sage; celui qui a reçu les éléments troublés est insensé.

Mais cet état peut être modifié, quoi qu'en ait dit Kong-tze, même en ce qui concerne le plus haut degré de sagesse et le plus bas d'inintelligence, que Kong-tze déclare immuables [5]. Mais pour cela il ne faut ni se corrompre soi-même, ni s'abandonner, car alors il n'est plus de remède.

Bien que cette corruption, cet abandon de soi-même, proviennent des facultés, on peut cependant s'en préserver, mais pour cela il faut aimer à

[1] Kong-tze disait : Les hommes sont proches par la nature (semblables), c'est la conduite qui les sépare et les éloigne.

[2] Ce sont la bonté, l'équité, la convenance et la sagesse.

[3] La nature, c'est la substance disposée d'une certaine façon, avec certaines lois réglées par le décret céleste.

[4] La nature, décret du ciel, est essentiellement bonne; la substance de l'être particulier peut seule se corrompre et cette corruption n'atteint pas son essence, mais seulement ses facultés.

[5] Kong-tze divise les hommes en trois catégories : 1° les saints, tels par nature et qui ne peuvent déchoir; 2° le bas vulgaire, qui ne peut s'élever à la sagesse à cause de sa nature même; 3° les sages, les hommes moyens qui, par l'instruction, peuvent devenir saints ou sages. Aux deux premières classes l'instruction est inutile. La troisième seule peut en profiter. — C'est cette théorie que nos auteurs rejettent.

Digitized by Google

s'instruire [1]; car si l'on n'en a point le goût, alors il n'y a plus moyen d'écarter ce mal.

La croissance se fait conformément à la loi du ciel; l'instruction et l'éducation se font par leur propre loi. S'il venait même un saint sur cette terre, il ne pourrait rien changer à cela. D'après Kong-tze, les hommes sont proches l'un de l'autre par la nature et s'éloignent par les habitudes; les plus sages et les plus grossiers seuls ne changent pas. Mais l'inintelligence, la grossièreté ne sont point le fait de la nature, elles proviennent de ce qu'on ne sait pas développer ses facultés [2].

En toute chose le bien précède le mal, le bonheur précède le malheur, et l'affirmation la négation.

4. On demandait : Que dit la doctrine de Bouddha de la nature?

La doctrine de Bouddha affirme aussi la bonté originaire de la nature; mais en ce qui concerne le développement et l'exercice des facultés, elle diffère de la nôtre, car elle enseigne la lutte contre elles [3]. Quant à la vie et à la mort, elle en fait quelque chose de semblable à l'écume de l'eau [4].

Elle enseigne en outre la succession circulaire de la vie et de la mort [5]. Discuter et trancher cette question est chose difficile. Le Saint [6] y a répondu décidément en cette seule parole adressée à Tze-lou : On ne connait pas encore bien la vie, comment connaîtrait-on la mort?

La doctrine de Bouddha brise la limite du passé et de l'avenir [7]; elle pousse la pureté à l'extrême.

[1] Dans l'instruction, *hio*, est compris l'exercice pratique des vertus sans lequel l'instruction n'est qu'un vain mot.

[2] La nature est le principe rationnel et vice versa. Le principe des choses est bon; avant que les sentiments s'élèvent dans le cœur, joie ou colère, plaisir ou peine, tout est bon. Quand ces mouvements se produisent, s'ils sont conformes aux principes, tout est encore bon. Sinon, le mal naît et se produit. (Commentaire de Yang-Hiong.) — On voit que le mal vient des facultés.

[3] La morale bouddhique prêche de les anéantir, afin de donner le calme à l'âme. Le Sing-li ne prescrit que de les bien régler.

[4] Chose vile et méprisable.

[5] La métempsychose.

[6] Il s'agit de Kong-tze.

[7] Elle fait connaître l'avenir des âmes et, pour ceux qui sont parvenus au Nirvâna, elle détruit l'avenir, quelle que soit la nature de cet état.

Digitized by Google

5. Voilà ce qu'on dit; mais qu'en savent ces gens?

Kong-tze, se trouvant sur la rive d'un fleuve, dit à ses disciples : Tout passe comme ce fleuve; ni nuit, ni jour, il n'y a le moindre arrêt.

Depuis la dynastie des Hans, les lettrés n'ont point compris le sens de ces paroles. Le cœur du Saint y était tout entier; par là on peut le voir dans sa simplicité, grand et vaste, sans bornes.

Le Shih-king dit que le décret céleste est permanent à jamais [1]. En effet, c'est par là que le ciel est ciel. De même que la vertu de Wen-Wang était ce qui constituait Wen-Wang; vertu simple, pure et sans bornes. Telle est aussi la vertu du ciel. Celui qui a cette vertu est vraiment dans la voie des rois; son essence est dans la rectitude.

6. Les animaux sont semblables aux hommes; seulement ils ne peuvent pas développer leurs facultés. Leur nature est telle par elle-même; ils ne cherchent pas à s'instruire; ils ne cherchent point à instruire les autres.

L'homme, bien qu'éminemment intelligent, n'en vient que trop souvent à se pervertir et à se détruire lui-même.

Liu-ta-lin dit : Le voile qui recouvre l'intelligence peut être mince ou épais; de là vient qu'elle est obscurcie ou perspicace. Ce voile peut être enlevé (ouvert) ou épaissi; c'est ce qui fait les hommes et les animaux.

Dans les dons décrétés par le ciel, il y a abondance ou parcimonie. Par là sont les forts et les faibles; il y a imperfection et qualité, et par là sont les animaux et les hommes.

La nature des animaux diffère peu de celle des hommes; mais comme les premiers sont incapables d'écarter le voile qui obscurcit l'intelligence, ils ne peuvent rien savoir clairement comme l'homme. Leurs facultés altérées ne peuvent être redressées; elles ne peuvent être bonnes et saines comme celles de l'homme. Différents par leurs facultés, les hommes et les animaux se rapprochent par la nature (Liu-ta-lin). En cela consistent leurs rapports.

7. Bien plus, selon le dire de Li-song (dans sa réponse à Tchou-hi), la bonté est la rectitude principielle du cœur, le fondement des actes extérieurs; la source de l'existence est la même pour les hommes, les animaux et les

[1] Par lui-même, le ciel décrète tout; mais ses décrets particuliers peuvent être modifiés par la conduite des hommes.

Digitized by Google

plantes. Ce principe agit sans cesse, sans aucune interruption ni repos; l'homme seul en a reçu la partie principale, l'intelligence, et peut établir l'accord, l'harmonie entre les éléments; il est la condensation de ce principe d'harmonie. Les animaux n'ont reçu que des facultés tronquées, et en cela est la différence; mais avec ces facultés ils peuvent à leur temps agir, grandir selon leur nature, sans interruption ni arrêt. En cela est leur substance. Si l'on dit que l'homme seul a reçu ce principe, cela peut être quant à ce que ses réflexions, sa connaissance par reproduction sont lucides et intelligentes; pour le reste, il y a bien probablement, en cela, une erreur.

Il en est de cela comme d'un corps nourri dans un sein. Le *khi* qui est en lui n'est jamais sans se perfectionner. Il agit en sens divers, il grandit et bourgeonne, il se développe naturellement, invisiblement, et ne passe pas au repos, à l'immobilité aussitôt après.

Il se remplit intérieurement et se forme; il sort de lui-même et pousse, il pénètre ce qu'il touche et rencontre.

L'action mutuelle est fondamentalement sans interruption ni intervalle. Cette pensée convenablement développée est très juste.

Ce qu'il dit en outre que « la nature de l'homme qui, le constituant tel, est différente (de celle) des animaux, consiste en cela », est, je le crains, quelque peu erroné.

8. D'après Tchou-hi, la nature est le destin; le destin est comme un diplôme de collation d'emploi. La nature est le devoir de fonction que l'on doit remplir selon le droit. Le cœur est comme l'homme en fonction. Le corps et le principe vital [1], c'est la connaissance requise, le zèle du fonctionnaire, laquelle peut être grande, vaste ou défectueuse.

La pensée est le juge siégeant et décidant en sa cour. Tels sont ses actes se manifestant au dehors.

La nature se résume en la bonté, la justice, les rites et la sagesse.

Le décret, destin du ciel, et le corps, avec son principe vital, s'unissent et s'harmonisent.

Dès que le décret céleste existe, le corps et son principe vital existent également et ne peuvent se séparer.

[1] Ou la substance de l'être.

Digitized by Google

Sans eux, le principe céleste n'aurait pas de base, et c'est dans ces derniers et non dans le décret ou destin céleste qu'est la source de l'imperfection et du mal. C'est dans le principe matériel et vital qu'il y a les imperfections, les inégalités d'obscurité et de clarté, de force et de faiblesse. Les vertus qui constituent la nature doivent être pleines et entières, et le sont en elles-mêmes. Mais dans la bonté, l'affection, il peut se rencontrer de la pusillanimité, de la faiblesse, de la bassesse; dans la honte et la haine, ces sentiments peuvent se porter sur des objets que l'on ne doit pas haïr. Ces imperfections proviennent non de la nature et des vertus elles-mêmes, mais du principe matériel et vital.

Prenons un exemple relatif à la clarté, l'éclat. Dès qu'il y a un miroir, dès qu'il y a de l'eau, il y a un objet pur et clair. La pureté est sa nature; le miroir, l'eau, en eux-mêmes, sont les principes matériels et vitaux. Sans eau ou miroir, il n'y aurait pas d'éclat. Il en est de même des couleurs. Là où le noir domine, si l'on y place un objet, il paraîtra noir; il paraîtra rouge, là où le rouge est en abondance.

De même le décret céleste doit être considéré dans l'être auquel il s'applique; exclusivement bon en soi, il change d'après l'objet dans lequel il se trouve et devient mauvais d'après celui-ci [1]. Le mal est donc dans le corps.

En parlant du ciel seul on ne suppose rien d'autre comme nécessaire, on insiste sur ce qui existe par soi [2].

Le décret-destin suppose les objets en qui il se répand, auxquels il s'applique. La nature implique la naissance, la production des êtres divers, des corps fondamentaux. Le principe rationnel implique les différentes formes des êtres et leurs propriétés particulières.

Telles sont ces notions séparées, considérées dans leurs rapports (elles appararaissent de la sorte); le ciel est le principe rationnel; le destin est en somme la nature; la nature est aussi le principe rationnel [3].

[1] C'est-à-dire : non le décret en lui-même, mais son objet et son produit.

[2] Le ciel seul est nécessaire et existe par soi.

[3] Le principe rationnel est la manière d'être et d'agir du ciel, le principe est la règle constituant la nature; ils sont donc identiques au fond.

Digitized by Google

9. Les inégalités des destins n'ont point leur cause dans le don et décret lui-même (mais dans les actes des hommes).

Lorsque deux substances sont en harmonie ou en désaccord, leur différence provient des différentes positions ou circonstances dans lesquelles elles se trouvent, et comme tout n'y dépend pas des forces et de l'action de l'homme, on dit cela décrété, donné par le ciel. Mais les dons venus de la source suprême en particulier n'ont pas le ciel seul pour cause. C'est pourquoi le Shih-king et le Shuh-king disent que Ti s'est irrité, que l'auguste Shang-ti a fait descendre des calamités sur le petit peuple. Cela indique la puissance souveraine (de Ti) [1].

10. Le principe du *k'ien* est vraiment grand, tout en reçoit son origine. La loi du *k'ien* en toute naissance ou transformation donne à chaque être sa nature, son destin. Ainsi toutes les choses remplissant l'espace naissent et engendrent sans cesse. Le soleil s'en va, la lune vient; le froid s'en va, le chaud vient; le vent, le tonnerre s'élèvent, s'agitent; les fleuves coulent, les montagnes se tiennent immobiles; tous reçoivent leur être de la puissance de production et de transformation inhérente au ciel [2].

Ce principe suprême, *Tai-kih,* est le réceptacle et le pivot de toutes les créations et produit tout par lui-même, à son gré. Tout cela est évident, sous les yeux, et concorde avec ce qui précède [3].

Lorsque la substance du ciel et de la terre est obscure, faible, mêlée,

[1] On est très surpris de voir apparaître ici Shang-ti, oublié dans tout le reste de ces livres, ce qui n'empêche pas, du reste, les compilateurs de continuer en parlant du *k'ien,* principe actif, puis du *Tai-kih.* C'est un des traits distinctifs du génie chinois que de savoir accommoder ensemble des choses disparates, parlant tantôt de l'une, puis de l'autre, sans se préoccuper des différences et oppositions. C'est une dialectique tout à part. Puis il leur faut conserver les doctrines de l'antiquité tout en en produisant de nouvelles.

[2] Pris ici, sans doute, comme principal représentant du principe actif ou *k'ien.*

[3] Le texte ajoute ici deux citations. La première de Sien Shang-tze : « Le décret céleste est ce qui engendre le principe rationnel et d'où provient la nature. » — La seconde, de Tze-Kong, rapporte cette opinion du Maître : « La nature est comme les biens de la famille. La loi du ciel est un bien supérieur, et, comme le cerveau, c'est l'intelligence. La partie inférieure est l'ensemble des possessions. Le principe engendrant est la nature; la nature est le principe rationnel du ciel, c'est la vertu du ciel. L'homme a pour caractère essentiel l'intelligence, la réflexion. »

Digitized by Google

troublée, c'est la substance (matérielle et vitale) seule qui l'est; le *li* ou principe rationnel reste pur et clair. S'ensuit-il que ces deux choses doivent être séparées ?

Bien que cette substance (*khi*) vienne du principe rationnel (*li*), dès qu'elle est engendrée, c'est alors le *li* qui réside en elle; tous les actes en proviennent, c'est elle qui domine; le *li* est dans une position inférieure, comme un père dont le fils est déréglé en sa conduite et que son père ne peut corriger. C'est pour de telles gens que les saints ont donné leurs enseignements, pour guérir ces maux. La pureté et l'impureté des dispositions internes est-elle la même ?

11. La substance donnée du ciel a des différences quant à la pureté ou la souillure, mais ces deux termes n'épuisent pas la matière.

Les hommes intelligents, perspicaces, capables de comprendre toutes choses ont cette pureté, cette clarté de substance; toutefois, si leurs actions ne sont pas toutes bonnes et pures, c'est que leur substance n'est pas simple (entièrement elle-même).

Les hommes respectueux, bons, fidèles, droits ont la substance simple et pure. Si donc il en est qui, bien qu'instruits, ne savent pas pénétrer le principe rationnel, c'est que leur substance n'est pas pure. De ceci on peut conclure tout le reste.

L'homme, à sa naissance, a l'intérieur en un repos complet, sa nature céleste est toute bonne [1], mais les objets extérieurs l'excitent et produisent en lui le mouvement; ce désir naturel n'est pas, du reste, mauvais en soi. Les objets extérieurs pénètrent en lui, il les saisit et perçoit, et il se forme en lui les sentiments d'approbation ou de répulsion. S'il ne les modère pas en son intérieur, son intelligence se laisse entraîner à l'extérieur et n'est plus capable de se retenir en elle-même. Alors le principe céleste s'affaiblit et l'homme devient méchant; alors il hésite entre la sainteté, la sagesse et le mal.

Réponse à Ho-Hao (de Tchou-hi) :

Les désirs de l'homme proviennent certainement du principe céleste et se

[1] C'est le Milieu immuable ou habituel, le Tchong-Yong (l'invariable milieu dont il est tant parlé dans les livres chinois).

Digitized by Google

développent de là; mais il n'est pas vrai que ce principe réside dans les désirs humains. Ils sont à l'origine en dehors de ce principe qui en est exempt; ils naissent des erreurs et de la corruption.

Tcheng-tze disait : le bien et le mal sont tous deux du principe céleste; le mal n'est pas tel originairement, fondamentalement; il est tel par excès ou insuffisance. Ce qui est mauvais par circonstance et conséquence est aussi en soi de la nature. Il en est de même de la pensée. Comment tout le bien et le mal de ce monde sont-ils principe céleste?

Voici : aimer fortement est bien; aimer ainsi ce qu'on ne doit pas aimer est mal. Décider avec fermeté est bien; le faire quand il ne le faut pas est mal.

Bien que ces actes (dans ces circonstances) soient mauvais, si leur source était tarie, comment pourrait-on agir? Le fond est donc du principe céleste [1]. Si donc l'usage fait des désirs est mauvais, ils sont aussi mauvais. Ainsi, mettre le feu, tuer un homme est très criminel; mais si l'on allume le feu pour cuire le riz, si l'on tue un criminel condamné à mort, ces actes sont certainement conformes au principe céleste. De même les lois sont choses excellentes et ne deviennent pas mauvaises parce qu'il y a des rebelles [2].

12. Meng-tze, dans ses instructions à Kong-fou-tze [3], ne parlait que des facultés, des pensées et des intentions, et nullement des actes. C'est que par les premières il jugeait suffisamment des seconds.

Il en est, en effet, de ceci comme d'une source. Si l'on voit une eau parfaitement claire, on peut affirmer que sa source est pure, bien qu'on ne la voie pas et qu'on n'aperçoive qu'une faible partie de son cours, ne pouvant le suivre plus loin.

Ce sont Tchang-tze et Tcheng-tze qui, les premiers, ont émis la théorie du *khi* et *tchih* [4], principe corporel et vital. Ils ont bien mérité de l'école des saints et rendu un grand service aux étudiants. Personne, avant eux,

[1] L'affection sort du principe céleste, le mauvais usage de cette affection, le choix de l'objet indigne est de l'homme.

[2] Littéralement : on peut y obéir ou résister. Obéir est bien; résister est mal.

[3] Disciple de Meng-tze, dont il est souvent question dans le livre de ce philosophe et qui interrogeait très hardiment son maître.

[4] 氣 et 質, l'organisme vivant et la pure matière.

Digitized by Google

n'en était arrivé là. Han-Yu, dans son Yuen-sing, avait bien parlé de trois catégories, mais nullement expliqué la nature particulière du *khi* et du *tchih*. Meng-tze, disant que la nature est essentiellement bonne, n'avait envisagé que son principe originaire. Leurs successeurs n'avaient pas fait davantage (et cette explication était encore à trouver). Tous les docteurs proclamaient la nature mauvaise ou mélangeaient en elle, sans distinction, le bien et le mal. Si Tchang-tze et Tcheng-tze eussent parlé plus tôt, il n'y aurait pas eu tant de discussions confuses et de disputes. Leur doctrine une fois formulée a étouffé les enseignements des autres maîtres. Et comme, malgré l'identité originaire de la nature, il y a dans le *khi* pureté et impureté, on sut alors donner la cause de la différence entre les saints et les hommes inintelligents, et expliquer comment le destin, le même pour tous, a, par les évolutions opposées et entremêlées du yin et du yang, des différences nombreuses, par l'influence des cinq sources de bonheur et des six causes de peine [1].

13. On demandait : Le Maître en parlant du destin distingue deux espèces; l'une comprenant la pauvreté et la richesse, l'élévation et la bassesse, la mort et la vie, l'âge plein et la mort prématurée. La seconde comprend la pureté et l'impureté, la droiture et la fausseté, la sagesse et l'inintelligence, la vertu et l'inconduite. L'une de ces espèces est liée au *khi*, l'autre l'est au principe rationnel et moral (*li*). A nos yeux, les deux espèces sont comme liées au khi, car la sagesse et l'inintelligence, la pureté et l'impureté, etc., sont produites par le khi seul. Il répondit : Il en est ainsi [2]. La nature est tout entière dans le principe rationnel du destin céleste.

Demande : Meng-tze dit : Toute nature est destin. Que désigne-t-on par ce mot nature?

Il répondit : Cela désigne le *khi* et le *tchih*.

Le destin désigne le *khi* et le *li* réunis.

Aussi, bien que les cinq affectus forment la nature humaine, le destin

[1] Les cinq sources de bonheur sont : 1. La longévité. 2. La richesse. 3. La santé et le calme. 4. L'amour et la vertu. 5. L'accomplissement parfait de son destin.

Les six sources de peine sont : 1. Une vie courte et malheureuse. 2. La maladie. 3. Le chagrin. 4. La pauvreté. 5. La perversité. 6. La faiblesse.

Elles sont déjà énumérées au *Grand Enseignement* du Shuh-king, V, iv, fin.

[2] C'est-à-dire que les vices et les défauts sont le produit du khi.

Digitized by Google

est particulier à chacun. Quant au fond de notre nature, on ne peut le comprendre par la réflexion.

En outre, ce que nous pouvons atteindre de notre destin particulier n'est point l'objet principal de nos désirs. Ainsi la pauvreté, la bassesse ne peuvent point être désirées. C'est la condition particulière imposée par le destin.

Si l'on arrive à la richesse, à la grandeur, bien qu'il n'y ait rien qu'on ne puisse faire, on n'en doit pas moins s'imposer, observer des bornes et des règles, et se conformer au droit.

Quand on dit que le destin possède la nature, c'est que le destin en ce cas désigne le *khi;* la nature désigne le *li* (la substance et sa loi).

Tout khi pur ou souillé, profond ou superficiel, est le destin.

Dans l'engendrement, il y a profondeur et superficiel; dans les rapports il y a correspondance ou opposition.

Tout cela provient de ce que chaque particularité de pureté ou vice, de profondeur [1] ou superficiel, est différente de toute autre. Et ce destin, qui est tel qu'il est dit ici, comme il est la nature, doit parfaire celle-ci.

Si l'on considère en général la gravité des paroles de Meng-tze, on voit qu'on a affaibli les unes et étendu les autres.

Bien que le décret du ciel soit unique et toujours semblable, quand il en arrive à la distribution du khi il y a des différences [2]. On doit considérer uniquement comment arrive la part ainsi attribuée par décret céleste. Si elle est grande et large, les principes rationnels et moraux s'accompliront.

On dit généralement aussi que le décret céleste est comme un édit souverain destiné à instruire. Le cœur est comme le fonctionnaire envoyé et constitué en charge; la nature est comme les affaires de la charge.

14. Le ciel ayant engendré l'homme, lui enseigne les lois de raison et de morale; il commet à l'homme les affaires de sa charge; la loi rationnelle et morale est une comme ces affaires.

Le khi donné du ciel est comme le fonctionnaire qui sait ou ne sait pas gérer les affaires de sa charge. Les gens élevés sont comme les hauts magis-

[1] Quand elle atteint les profondeurs du cœur et y implante la vertu.
[2] Ailleurs nous avons vu nier qu'il y ait deux destins. Ici Tchou-hi l'affirme.

Digitized by Google

trats; les petites gens, comme les magistrats inférieurs. Les richesses représentent les traitements plantureux; la pauvreté, les traitements peu élevés. L'âge avancé est comme la fonction obtenue pour un certain temps; la mort prématurée, comme l'impossibilité d'avoir une charge. Le décret céleste est comme le prince qui nomme aux fonctions et confère ces choses.

Commentaire. — Tchou-tze, dans ses *Entretiens,* compare le décret du ciel à celui d'un souverain. C'est très juste. Ainsi, bien que du commencement à la fin tout soit destin céleste, on distingue le destin réglé et celui qui se rencontre comme fortuitement. Ainsi on éclaircit la notion de la nature. Ce qui est donné originairement et réparti dans le peuple, est le destin régulier.

Quand on a reçu la nature du corps et du principe vital, on peut encore ne point être entièrement conforme à la pensée du ciel.

Dans le nombre des puissances vitales (khi) qui sont données accidentellement, il en est de rebelles et de dociles, d'inégales quant aux forces et à la pénétration. Bien que ce ne soit pas ce que le ciel a établi comme principe, cependant donner les biens au bon et les maux au méchant ne contredit point son décret; ainsi l'homme revient au destin régulier.

15. Revenons au décret du prince. D'abord, établir magistrat et assigner la fonction c'est le décret réglé du prince. Mais, comme on ne reçoit pas avec cela des vertus et une conduite toujours égales, on ne sait pas se conformer toujours parfaitement au décret du prince. Dans les affaires de la charge, il y a du facile et du difficile, des cas fréquents et plus rares. Mais si le prince ne peut pas être toujours le maître de la chose (diriger tout selon sa volonté), à la fin il élève ou abaisse l'homme intelligent ou stupide, suivant les coutumes du royaume, et alors on revient au décret réglé.

Aussi les sages, servant le ciel, perfectionnent leur nature, respectent le décret favorable et c'est tout. Bien qu'on rencontre des agents rebelles et d'autres dociles, des faibles et d'autres actifs, le ciel veut seulement que l'on s'applique au bien et n'ait point un cœur double.

Les sages, servant le prince, ont uniquement à perfectionner leur vertu et à suivre le décret favorable. Quoi qu'ils rencontrent, le prince ne les a

Digitized by Google

commis que pour rechercher avec soin et ne point négliger leurs fonctions. Le devoir est le même des deux côtés.

16. Si l'on considère l'unité de la source de toute chose, on doit voir que le principe rationnel est identique et les khis différents. Si l'on considère la différence des substances de toutes choses (en chacune), on verra que les khi sont très proches l'un de l'autre et les principes rationnels très différents [1].

On demandait : Dans la nature sont compris la bonté, la justice, les rites, la sagesse parfaits, n'est-ce pas?

Il répondit : Bien que cela soit généralement, cependant dans les vers, les fourmis, etc., la nature, vu son état d'imperfection, n'y est point parfaite, mais elle se partage dans le khi impur.

Il dit encore : La nature des hommes et des animaux est, quant à leur intelligence et leur corps, tronquée ou complète et nullement identique en sa perfection; au sein de son imperfection et de sa perfection, il y a des différences radicales de pureté et de lucidité.

Quant à l'homme, en ce qui l'obscurcit il y a un principe que l'on doit pénétrer, approfondir. Quoique cette nature soit également dans les animaux, comme elle est fort restreinte en leur corps et forme, qu'elle est fort obscurcie et écourtée, elle ne peut se pénétrer.

Si l'on veut comparer à quelque chose la bonté du tigre et du loup, les rites du scorpion et de la loutre, la raison des fourmis et des abeilles, ils sont semblables à l'éclat d'un bois fendu [2]. La forme et la nature du singe étant semblables à celles de l'homme, il est de beaucoup au-dessus des autres animaux. Bien que, d'un côté, les tigres, loups, abeilles et fourmis aient tous reçu cette nature imparfaite, d'autre part ils ont reçu d'un bout à l'autre la rectitude du droit et de la raison.

17. Ce que le ciel donne à l'homme originairement étant en soi parfait,

1 Considéré en sa source, le principe rationnel est unique, ses lois générales sont invariables, mais les substances particulières qu'il règle diffèrent considérablement l'une de l'autre. D'autre part, dans ses applications, le principe rationnel se divise, puisqu'il forme les êtres particuliers différant beaucoup les uns des autres, et la substance diffère moins de l'un à l'autre que les applications spéciales du principe rationnel, unique en sa source.

2 Ils sont bien faibles.

Digitized by Google

l'appetitus des choses extérieures vient se mêler à sa substance, l'obscurcir, et ainsi il ne parvient pas à pénétrer un seul point de ces objets et à le parfaire. Comment cela se fait-il? — Pénétrer un seul point est déjà chose bien difficile. Bien que l'homme puisse, en soi, comprendre toutes choses, comme il est généralement négligent et superficiel, il tombe facilement dans la confusion et l'erreur.

Si, suivant la nature, on cherche, on réussit à pénétrer hommes et choses, et à en disserter, on trouvera que ce mot « nature » est identique à naissance. La nature est donc le khi donné du ciel en son entièreté.

Le décret du ciel est la nature et ne peut se séparer de la substance donnée du ciel. Suivre, c'est imiter, se conformer. Qui veut se conformer à la loi morale, ne peut pas toujours imiter l'homme qui la pratique (qui doit la pratiquer).

Tout ce qu'il y a de bon dans la nature est une seule et même chose. Ce n'est que la substance propre des hommes et des choses qui diffère. Dire que le principe rationnel n'existe pas dans les choses, c'est errer. La nature, c'est l'être simple et primitif.

18. La loi est le principe rationnel existant dans la nature et qui en forme les distinctions. Mais tout ce qui suit ce principe distinctif est sa loi.

Mettre la bride à la trompe de l'éléphant ou au cou du cheval, c'est agir conformément à leur nature.

La bonté, le droit, les rites, la sagesse ne sont point absents chez les animaux, mais ils y sont écourtés. Si l'on se conforme au principe de leur nature, on verra qu'ils ne sont pas sans loi.

En parlant de la nature comprend-on dans ce terme le principe rationnel? — Oui, il en est ainsi.

Dans l'oiseau yuen il y a la nature du yuen. Dans le poisson, il y a celle du poisson. Le vol de l'un, le saut de l'autre, ont leur principe naturel dans le don du ciel. C'est l'effet de la puissance merveilleuse du ciel qui agit au dehors et se manifeste avec éclat et selon le principe rationnel. Et comme le dit Tze-sse, il n'est rien de ce qui se manifeste en ces êtres qui n'ait sa loi. Tchen Shun ajoute : Ce que le Maître dit de la bonté de la nature se rapporte au temps antérieur à la naissance des hommes et des choses, et au fondement originaire de toute production et naissance. Cette désignation de

Digitized by Google

la bonté est importante et est la vraie nature. — Meng-tze, disant la nature bonne, parle de la nature arrivée à sa perfection, achevée. Dire que la nature est bonne après la naissance, c'est chose peu grave.

19. Kong-tze, disant que la nature est bonne, voulait parler de sa source première avant la naissance de l'homme et des choses; c'est là un mot aussi profond que vrai.

La pureté, la bonté de la nature viennent de la source d'engendrement et de formations diverses. Ce qui y est intimement lié est bon. Après qu'elle a été complètement formée et n'est plus en sa source, elle peut être bonne encore (mais ne l'est pas nécessairement). Cette bonté de la nature qu'enseigne Meng-tze vient de la bonté principielle de Kong-tze; car il ne peut y avoir deux sources ou fondements.

Selon Hiu-Heng, la pauvreté, la richesse, la grandeur et l'obscurité, la vie et la mort, l'infortune ou le bonheur proviennent du khi, et leur principe est dans le ciel; il est inutile de vouloir se les procurer malgré eux, car cela est fixé en eux et leur est propre. En eux est le destin (juste et droit), favorable ou défavorable.

On doit accomplir son devoir, suivre sa loi et ne point se tenir comme sous un mur au bord d'un précipice et attendre de se corriger. Que l'on ait alors le bien ou le mal, on doit le recevoir selon le devoir; cela vient alors sans avoir été provoqué. Le destin propice vient de l'action du ciel; le destin funeste est la suite de fautes, de la recherche du bonheur au mépris des rites et de la justice; alors on tombe dans l'infortune, on meurt dans les fers. Car le destin qui atteint l'homme, c'est lui qui se l'est attiré.

3. — Le coeur, la nature, la pensée.

1. Le cœur, en un premier sens, désigne la substance en tant que sans mouvement et silencieuse. Ou bien on se réfère à son usage, à ses actes; c'est lui alors qui, mis en mouvement, scrute les causes de ce monde [1]. Ce n'est que quand il se manifeste au dehors qu'on peut voir ce qu'il est.

[1] Les Chinois n'ont jamais bien distingué le cœur, les affections et la pensée. On voit ici cette même confusion. Pour eux le cœur est la source des pensées comme des appétitions.

Digitized by Google

Le cœur de tout homme est le cœur du ciel et de la terre; le principe constitutif d'un être est celui de tous les êtres; le cours d'un jour est celui de toute l'année.

Le principe rationnel et l'intelligence sont une seule et même chose, ce n'est point l'homme qui peut les réunir et les unifier [1].

« L'homme est le cœur du ciel et de la terre, est-il dit; l'intelligence du ciel est celle du peuple [2]; il n'y a qu'un seul principe rationnel. » C'est par leurs actes que l'un et l'autre se distinguent.

Le corps de l'homme est borné et mesuré; la substance du cœur l'est également; comment pourrait-il être sans borne ni limite, si, dans cette forme, dans cette substance bornée, il ne fait pas régner les principes de morale [3]?

Meng-tze disait : Si l'on perfectionne son cœur, on en connaîtra la nature [4]. C'est que le cœur en l'homme est lui-même la nature; pour le ciel, c'est le destin. Et ce qui la domine, c'est le cœur.

Ce cœur n'a qu'une seule manière d'être. Si l'on sait y faire pénétrer la loi morale, alors il n'est plus borné et limité.

En ce monde il n'y a rien qui soit en dehors de la nature; si celle-ci a des bornes, alors il y aura quelque chose en dehors d'elle (donc en elle-même elle n'en a point).

2. Il est différentes expressions concernant les actes du cœur, dont nous devons donner une explication. On dit que le cœur entre et sort, qu'il ne sait jamais où il est. Comment cela se fait-il?

Quand le cœur se maintient dans la voie droite, il est à l'intérieur; s'il s'abandonne et ne se garde point, il sort.

Le cœur lâché est celui qui, bon à l'origine, devient mauvais, petit à petit

[1] Ils le sont par eux-mêmes. L'intelligence, c'est la partie pure de la substance générale, régie par le principe rationnel, dans laquelle celui-ci s'incarne.

[2] Expression du Shuh-king, V, I, 2, 7.

[3] En faisant régner la loi rationnelle on écarte les passions et les objets extérieurs qui limitent le cœur.

[4] Le cœur parfait est sans ombre ni voile; on le pénètre à fond, car tout ce qu'il fait est bon. Le cœur domine la nature.

Par rapport au ciel, la nature c'est son décret. (Cp. Tchong-Yong, I.)

Digitized by Google

comme entraîné par un courant. S'il n'est pas maintenu et bien gardé, le cœur est semblable à un radeau qui est agité, tourne, est poussé en une minute dans tous les sens et ne s'arrête pas un instant; ou comme un miroir suspendu en un endroit, où tous les objets viennent se refléter, quels qu'ils soient.

S'il n'est point formé, instruit, il ne pourra rien faire avec soin. Bien formé, au contraire, il saura corriger ce qui est perverti.

Certaines gens sont en leur esprit comme s'il y avait en eux deux personnages. Si d'un côté ils veulent faire le bien, leur méchanceté les entrave; s'ils sont portés au mal, ils ont honte de leurs dispositions mauvaises [1].

Ces deux hommes ne sont point originairement en eux, aussi sont-ils en désaccord complet.

Si l'on sait garder sa pensée, on ne laissera point troubler sa substance (*khi*); on le constatera parfaitement.

On dit de certaines gens qu'ils n'ont point de cœur. Il n'en est point ainsi réellement, mais ils sont volontairement comme s'ils n'en avaient pas.

Quand un homme a un cœur bienveillant et juste, ces dispositions se manifestent au dehors. Si cela n'est point dans le cœur, ce n'est pas non plus dans la substance, le khi, qu'il faut le chercher. (Où sera-ce donc?)

La joie et la colère proviennent de la nature. Dès qu'elles se manifestent, c'est que la nature est là; là où il y a nature (humaine), il y a pensée; sans nature d'où viendrait la pensée?

La joie et la colère ne viennent pas du dehors, mais elles sortent du dedans, excitées par l'extérieur. Ce sont comme les ondes, les vagues de l'eau. La nature de l'eau est d'être tranquille, égale, claire comme un miroir. Si elle rencontre du sable ou des pierres, elle devient inégale comme la terre et tourbillonne tout autour. Si un vent favorable s'élève, elle s'élève en vagues, contrairement à sa nature essentielle et bien que cela lui soit naturel accidentellement. C'est ainsi que dans la nature de l'homme, qui ne comporte que les quatre principes d'actions [2], il y a tant de tendances mauvaises.

3. Avant qu'il s'élève en lui-même aucun sentiment de satisfaction ou de

[1] C'est le *Video meliora proboque deteriora sequor.*

[2] Voir p. 26.

Digitized by Google

colère, de joie ou de peine, le cœur est dans ce qu'on appelle le milieu; mais ce n'est pas la même chose que le principe même du milieu. Ces deux notions exprimées par un même mot ont des côtés très différents [1]. Quand aucun de ces actes ne s'est produit encore, il ne faut point chercher ce milieu qu'on possède, car dès qu'on pense, le cœur se porte au dehors, alors il y a affection et non milieu [2]. On peut alors chercher à maintenir le milieu et non le rechercher [3]. Si, tandis qu'on s'affermit dans le milieu, ces impressions se manifestent, on saura aisément se maintenir dans la voie droite (en réprimant les mouvements),

Dès que les actes de joie, de haine, etc., se sont produits, il peut y avoir paix, concorde, mais non milieu. Lorsque le cœur s'échappe dans un de ces sentiments et reste cependant fidèle au devoir, cela s'appelle spécialement *ho*, concorde, harmonie.

Dans l'état de milieu, l'oreille n'entend pas, l'œil ne voit pas peut-être, mais le principe de l'ouïe et de la vue y est complet.

« Le cœur doit toujours être maintenu dans cet état de milieu. Si on l'examine alors avant qu'aucun affectus s'y manifeste, on le trouvera lui-même d'une substance et d'une apparence unique. Il change aussitôt qu'il se porte vers un objet. » C'est ce qu'on dit, mais ce n'est point ainsi que procèdent les gens habiles. Ils examinent, scrutent le cœur au moment où l'un des divers sentiments s'y manifeste, et non dans le repos absolu où l'on ne peut l'atteindre [4]. On insiste en disant qu'on peut l'observer quand il connaît, perçoit un objet; c'est vrai, mais on oublie que la perception est un acte, un mouvement, lui- même perceptible, et non le repos absolu.

Jadis on enseignait que c'était dans le repos silencieux que l'on pouvait connaître le cœur du ciel et de la terre; pour moi, j'affirme que c'est au contraire dans le mouvement. C'est par le mouvement seul que l'on peut connaître l'état de repos.

[1] Ce mot a deux emplois : il désigne l'état du milieu et son principe, sa loi.
[2] Tout *affectus* détruit le milieu pur.
[3] La recherche produit le mouvement qui fait sortir du milieu.
[4] Le cœur qui n'agit point échappe à toute observation; il n'a plus que sa substance, et celle-ci est insaisissable.

Digitized by Google

Aussi l'on ne peut admettre ces enseignements de la doctrine de Bouddha, que l'on doit se tenir dans la contemplation immobile 定.

4. Les saints parlent seulement d'une fermeté immuable; car, d'autre part, si les objets extérieurs (auxquels on cède) sont bons, on sera bon; s'ils sont mauvais, on sera mauvais.

« Mais que nous importe la qualité bonne ou mauvaise des choses? Si je suis plongé dans la méditation inerte, je n'ai plus d'effort à faire. » — Voilà les conséquences du bouddhisme!

La nature bonne ou mauvaise des choses est en elle-même. C'est pourquoi les savants ne parlent que de se tenir fermes. Or cela, quant au prince, c'est d'être ferme dans la bienveillance; pour le sujet, c'est de se maintenir fermement dans le respect, etc. [1].

Beaucoup de gens ne savent pas se maintenir de la sorte. L'homme est occupé de mille choses; s'il se présente quelque affaire, il la prend spécialement à cœur et sort par là de lui-même. S'il repousse les préoccupations, il pourra rester en lui-même.

Lorsque les pensées ne sont pas encore stables, on est dans la difficulté et la peine; parfois une pensée préoccupe l'esprit, et dans le même temps d'autres objets viennent s'y mêler; comment doit-on agir alors [2]? Il ne faut point s'y livrer, car c'est là la source des erreurs; on doit s'exercer avec soin, et si on le fait, on pourra conserver l'unité intérieure qui est un grand bien. Ne pensez point à réfléchir, méditer, à vous appliquer à une affaire, mais à rester un, intérieurement.

Si, dans un moment de repos intérieur, des objets se présentent à votre vue ou à votre ouïe, voyez d'abord ce que c'est. Dans une occupation grave, le sacrifice, par exemple, ne laissez distraire ni vos yeux ni vos oreilles; en aucune circonstance, n'écoutez, ne regardez d'une manière, dans un cas, contraire aux bonnes règles.

En résumé. Le cœur est dans le *milieu* quand il est lui-même en repos, en silence, avant qu'aucun objet ait excité ses désirs et l'ait fait sortir

[1] Le koua *kan* 艮 explique le sens de 止, car *kan* 其止.
[2] Question du disciple Su-ping.

Digitized by Google

de son intérieur. Dans cet état on ne peut l'atteindre, ni l'étudier, ni le cultiver. Il peut rester ainsi quand il veut. S'il sort par un affectus et qu'il reste conforme aux lois de la sagesse, il est encore en repos, bien qu'en mouvement. Dans son repos premier, il est encore la base de la sagesse et de la justice, tout est en lui. S'il se livre à un objet, à une affaire qui l'excite, mais qu'il s'en détache, l'affaire terminée il retrouvera le vide et le repos du cœur et se débarrassera des idées étrangères. Ainsi le mouvement et le repos se succèdent, fondés l'un sur l'autre. L'essentiel en tout cela est l'attention vigilante.

Le silence et l'immobilité du cœur sont le vide et la lumière, la simplicité et l'unité; il est alors semblable au ciel et à la terre, intelligent et pur comme les esprits. Le cœur peut être droit et pur par lui-même, sans l'intervention de qui que ce soit. Les sages ne le laissent pas troubler, émouvoir et entraîner par les objets extérieurs. Il est comme un miroir sans poussière. Qu'on veille sur lui et le maintienne pur en ce qui concerne les grands mouvements et l'on saura éviter aussi les petits. Si on se laisse aller à la colère, à la frayeur, à la haine et à la passion, aux plaintes vives, on ne saura plus se garder des fautes en regardant, écoutant, mangeant, se reposant.

5. Le cœur ne forme qu'une souche à l'origine, il pousse des branches et des rameaux qui se séparent : ce sont les pensées.

6. Ce que les Bouddhistes appellent « nature », est « le cœur » pour nos lettrés; et « le cœur » des Bouddhistes est pour nous « l'esprit, la pensée ». (Sian Liang-tzo.) Nos six Kings ne parlent pas de l'absence de cœur (de le supprimer moralement); les Bouddhistes seuls s'expriment ainsi, mais ils ne parlent pas de corriger, restaurer la nature.

On ne peut point être sans le cœur, ni chercher à restaurer la nature en elle-même (ce n'est point elle mais le cœur qui se pervertit). Le Yih-king ne parle que de purifier le cœur et de perfectionner la nature; et le Li-ki de rendre son cœur droit et de développer la nature vertueuse. Meng-tze non plus n'enseigne qu'à tenir son cœur ferme et à entretenir la nature (Yang-shi).

7. La vérité réalise la nature du monde subcéleste. La nature maintient l'existence de ce monde. La pensée, l'intelligence est ce qui concorde avec les mouvements de ce monde (Ho-Hoang). Le cœur donne sa beauté aux

Digitized by Google

puissances de la nature et de l'intelligence. C'est lui qui les gouverne et en dirige les actes (Tchu-hi).

La nature est parfois expliquée avant le cœur; les anciens ont fait le contraire à cause des caractères représentant ces idées. En effet, le caractère du cœur entre dans la composition de ceux qui désignent la nature et la pensée. Le premier est composé de cœur et de naître. Il doit en être ainsi. Meng-tze dit que le cœur bon et juste est compatissant et hait le mal.

La nature est le principe qui règle le cœur; la pensée est l'acte de la nature, sa fonction. En mettant le cœur en premier lieu, on enseigne mieux l'unité complète de la nature et de la pensée. Si l'on commence par la nature, on devra pour ainsi dire poser un second cœur dans celle-ci.

Il est faux que le cœur comprenne la nature et la pensée, comme le dit Yang-heng-kin. Cela est insoutenable et ne s'explique pas. La bonté, la justice, l'observance des règles, la sagesse composent la nature. Aimer, haïr, refuser, accorder, affirmer, nier sont les actes constitutifs de la pensée.

L'acte d'affection produit par la bienveillance, celui de la haine provenant de la justice, la condescendance venant des rites et le savoir de la sagesse, sont du cœur.

La nature est le principe du cœur, la pensée est le mouvement de la nature. Le cœur domine la nature et la pensée. Avant tout acte, c'est la nature simple; après l'acte, le mouvement, c'est la pensée.

Le cœur, l'intelligence, impliqués dans le repos ou le mouvement, pénètrent toute chose, sont en tout.

8. Shao-tze disait : La nature est le corps de la loi; le cœur est comme la citadelle de la nature; le corps est le terrain du cœur. Cela n'est point. La loi, le principe de raison est vide, sans forme ni ombre. La nature seule est le corps de la loi.

9. Le cœur de l'homme est un être vivant; il agit et se répand indéfiniment et l'on ne peut le resserrer en un point, est-il dit. Le sens de ces mots est que le cœur est actif et intelligent; il est large et vaste; on doit l'examiner dans ses manifestations et ses actes et dans sa production. De là ces paroles : La bonté est le cœur du ciel et de la terre engendrant les êtres; ce cœur est immense, agit constamment et engendre sans fin.

Digitized by Google

Le cœur est essentiellement intelligent, comme le soleil avant son lever; ainsi, avant qu'il sorte de lui-même par les pensées et les désirs, il est perspicace, intelligent et non privé de pensée.

Si la nuit il a un rêve, il est dans le même état qu'en temps de veille, quand il pense. Mais s'il n'a pas de rêve, alors il est sans pensée, il ne connaît rien, semblable en tout à un bois sec, à ce qu'il semble. Mais cela n'est point sans doute, car alors où est allée sa substance, qu'est devenue son intelligence? En quoi le saint diffère-t-il de l'homme vulgaire? Que deviennent alors les pensées, les efforts des étudiants?

A cette question posée par ses disciples, Tchou-hi répondit :

Dans le sommeil comme à l'état de veille, dans le repos comme dans le mouvement, le cœur n'est pas sans action; l'action et l'immobilité y ont leur part; seulement, quand on est éveillé, c'est le yang qui agit; quand on dort, c'est le yin. Au premier état, l'intelligence claire; au second, la lourdeur; au premier, le cœur est maître; au second, il ne l'est pas. Mais, tiré par excitation de son repos silencieux, il se montre évidemment spirituel et pénétrant. Le cœur est la substance pure du khi; il est un.

10. Le savoir intelligent qui commence par apprendre à manger et boire quand on a faim et soif, est le cœur de l'homme. Celui qui commence au devoir des princes et sujets, pères et fils, est le cœur de la loi. C'est selon qu'il provient des formes visibles ou de la raison.

Le cœur est parfois éclairé, intelligent; parfois ignorant.

Les saints seuls sont toujours perspicaces; les autres doivent choisir le bien et s'y tenir fermement.

L'homme, c'est la substance et la forme extérieure; le cœur en est la partie la plus intime et la plus importante.

Le cœur de la loi morale, bien que connu le premier, est distinct du cœur de l'homme, et conséquemment difficile à connaître parfaitement. Le cœur de l'homme correspond à ce que Meng-tze a appelé la fonction des oreilles et des yeux, remplie sans le savoir.

Le cœur de la loi correspond à une fonction du cœur occupée d'abord, puis remplie avec réflexion. C'est pourquoi son objet principal doit être le principal objet d'attention et le premier établi.

Digitized by Google

11. On ne peut définir la nature. Quand on dit qu'elle est bonne essentiellement, c'est qu'on considère la nature des quatre vertus fondamentales: bienveillance, compassion, modestie, dignité. Par elles, on peut voir la bonté de la nature (en celui qui les possède), comme on peut juger par la pureté d'un courant d'eau, celle de sa source. Cette pureté réside dans les quatre vertus cardinales.

La nature, c'est le *li* (principe rationnel); ce qui en vient, ce qui s'en manifeste au dehors, ce sont les sentiments et intentions. Leur fondement est la nature; de même qu'en voyant l'ombre on connait (la présence) du corps.

Lorsqu'il l'est suffisamment, le cœur de l'homme gouverné par lui et sous son influence menaçante lui devient comme identique.

La réflexion est l'acte du cœur cherchant en divers sens. La pensée est ce qui en sort. Comment peut-on les distinguer?

La pensée vient directement de la nature; la réflexion est l'acte décrétant que telle chose doit être ainsi.

Par exemple, avoir de l'affection pour une chose présente, c'est de la pensée. Mais si, ayant abandonné une chose, on l'aime, c'est de la réflexion.

Le cœur est le maître du corps; la réflexion qui dirige vient des sentiments du cœur. La pensée est le mouvement du cœur; l'intention est ce vers quoi se porte le cœur. La pensée, l'intention, sont plus importantes que la réflexion et le sentiment.

Le khi est ce qui, par le sang et le principe vital matériel, remplit notre corps. La forme et les membres, si l'on y compare ces choses essentielles, sont les plus grossières.

12. Ce qui est le terme [1] du cœur est l'intention; ce qui est le but du soleil est le temps. Le caractère « cœur » entre dans la composition du caractère « réflexion » et celui du soleil dans celui du temps.

L'intention est ce qui vient d'une grande attention. La réflexion vient d'un soin, d'une recherche répétés. C'est tout ce qui est déterminé après mûre délibération. Comme on dit : l'intention est le prince, la pensée est le particulier.

13. L'homme a de l'intelligence; l'animal aussi, mais différemment. L'une pénètre profondément; l'autre est arrêtée, brisée.

[1] 之.

Digitized by Google

Il y en a également même dans la plante, mais à un degré inférieur encore. En effet, voyez une fleur épanouie; si on l'arrose, elle est belle et brillante; si on la plie ou la brise, elle se dessèche. Tous les êtres vivants ont un cœur, mais de degrés divers.

14. En ce corps, il n'y a que forme extérieure, souffle vital, esprit et principe rationnel. Ce principe est plus intime et caché que l'esprit; l'esprit l'est plus que le souffle vital (khi); le souffle vital, plus que la forme corporelle. Celle-ci étant constituée, le principe vital peut agir en divers sens, être froid ou chaud, etc. Dès que l'esprit existe, on peut savoir et comprendre, réfléchir et décider. Dès que le principe rationnel s'est produit, l'esprit peut comprendre, savoir, réfléchir, agir selon la raison et la justice.

Tout cela, du reste, ne forme qu'un seul être que l'on distingue ainsi par différents noms. Si l'on comprend cela, on sait ce que sont le cœur, la nature et la pensée.

4. — Les cinq vertus essentielles [1].

1. Tout être visible qui réunit en lui sang et principe vital, doit posséder, compléter les cinq vertus essentielles, permanentes; mais on ne sait pas les rendre parfaites. Kong-tze, en parlant de la bonté, n'y a pas joint la justice. Le Yih-king, en posant les fondements de la loi morale, y met la bonté et la justice. Meng-tze comprend la seconde dans la première. La bonté est le corps; la justice, son emploi; on doit donc ne point en séparer la loi morale, mais au contraire en parler en même temps. Les hommes du siècle ont laissé la justice et la bonté à l'écart de leurs dissertations, les ont mal comprises et n'ont pas su les distinguer; ils ont parlé sans connaissance de la chose.

On peut comparer l'ensemble de ces vertus à un corps. La bonté en est la tête, les autres en sont les quatre extrémités, les mains et les pieds.

Le Yih-king, en posant le yuen (principe du bien)[2] comme la base du bien, y comprend les quatre vertus. Le point supérieur des quatre vertus

[1] Ce sont : humanité, rectitude, équité, convenance et sagesse. Les quatre vertus dont il est parlé plus loin sont les mêmes, à part la rectitude ou fidélité. (Voir p. 147 *initio*.)

[2] Voir le *Tong-shuh*, p. 26, et le *Kvân-wuh*, partie II, 元.

Digitized by Google

est comme la bonté des cinq principes cardinaux. Les confondre est une erreur; en vérité, la vertu totale en comprend quatre [1].

2. Le cœur diffère de la bonté en ce qu'il est le principe dominant; la bonté s'applique aux êtres extérieurs; c'est l'emploi fait du cœur. Mais on ne doit pas les appeler ainsi purement et simplement.

Le cœur peut être comparé au corps; les quatre principes d'action sont comme les quatre membres du corps; bien qu'ils soient les moyens d'emploi du corps, ils ne doivent être appelés que les quatre membres du corps; bien que les quatre principes aient leur achèvement dans le cœur, on ne peut dire qu'ils soient les moyens d'emploi du cœur (ses moyens d'action) [2].

On a comparé les cinq vertus aux cinq espèces de semences de grain qui poussent et produisent aussitôt qu'elles sont atteintes par l'action du yang. Mais il n'en est point ainsi. L'esprit du yang qui agit au dehors est l'intelligence, la pensée. Le cœur peut être comparé à la semence du grain [3], et la nature productrice est la bonté.

3. La vertu suprême du ciel et de la terre est la vertu engendrante. Quand le ciel et la terre unissent leur action, tous les êtres se forment et se constituent. Cette vertu est la nature; c'est en elle qu'on peut voir la pensée productrice de toutes choses. Ainsi le principe premier est le fondement du bien, son point suprême. On peut l'appeler *la bonté*. C'est l'objet et le résumé des enseignements des dissertations des maîtres, des saints et des sages.

On a identifié l'affection dont parle Meng-tze avec la bonté, et celle-ci avec la bienveillante compassion. Mais celle-ci appartient à la bienveillance; la bienveillance, aux sentiments, et la bonté, à la nature même, et l'on ne peut confondre la bonté avec la compassion affectueuse. L'affection dont parle Meng-tze est le principe de la bonté, mais n'est pas la bonté elle-même.

La maxime de Han-Yu : « la bonté est l'affection, la compassion universelle » est absolument fausse. Bien que les hommes vraiment bons aient cette compassion, l'une et l'autre de ces vertus ne sont pas identiques. Les hommes dépourvus de bonté n'ont ni vrai savoir, ni vraie intelligence; toutefois la bonté n'est pas le savoir, ni l'intelligence.

[1] Ce sont des vertus distinctes que l'on ne peut confondre.
[2] Ce sont les règles des actes.
[3] Et non les membres matériels comparables aux grains.

Digitized by Google

La loi de la bonté[1] peut, en général, se formuler par ce seul mot : équité. L'équité est la règle de la bonté. Toutefois ces notions ne se confondent pas.

La préoccupation de l'homme juste est la bonté; si, étant juste, on sait avoir égard en tout et partout aux autres êtres et à soi-même, alors la bonté sait être compatissante et affectueuse. La compassion est l'extension de la bonté; l'affection en est l'acte, la mise en action.

La bonté parfaite fait du ciel et de la terre comme un seul corps, et de tout ce qui s'y trouve, comme ses quatre membres et ses os. Est-il quelqu'un qui n'aime pas les siens?

Les saints qui ont la perfection de la bonté savent seuls former ainsi leur cœur.

4. La vérité est la loi du destin céleste. Le milieu[2] est la loi de la nature; la bonté est la loi du cœur.

5. D'après Tchou-hi, le ciel et la terre forment le cœur[3] qui crée l'homme et les êtres divers. Chacun en sa sphère fait son cœur du cœur du ciel. Ce cœur se résume en un mot : la bonté. La vertu de ce cœur du ciel et de la terre a quatre espèces : le principe initial, le développement, l'affermissement et le perfectionnement[4].

Le principe initial est général[5]; dans ses évolutions, les quatre saisons se produisent successivement. Le souffle générateur du printemps pénètre tout sans exception. Dans le cœur de l'homme, sa vertu est de quatre espèces : bonté, justice, observance des rites, sagesse.

[1] Le mot que nous traduisons « bonté » est ordinairement rendu par « humanité » ; mais ce terme ne nous paraît pas adéquat, il ne comprend que « l'amour des hommes. » Il est vrai que le caractère chinois qui y correspond 仁, *jîn* est formé de celui qui représente « homme 亻 », mais comme on le voit par notre texte, le sentiment désigné par ce mot a pour objet l'univers entier. Il est, d'ailleurs, rendu en mandchou par *gôsin,* qui signifie bonté, bienveillance en général. Le terme chinois désigne, ce nous semble, la disposition interne, générale à la bienveillance, à la bonté exercée, à l'affection, et avoir en soi cette disposition c'est un devoir de justice et de droiture.

[2] La modération, l'absence de passions irrationnelles.

[3] C'est le cœur du ciel et de la terre qui a fait l'homme. Il serait assez difficile de dire quelle idée ce philosophe se faisait de ce cœur.

[4] Voir plus haut, p. 26.

[5] Tout a un commencement; beaucoup s'arrêtent là.

Digitized by Google

6. La bonté implique toutes les autres, et lorsque ses manifestations, l'affection, le respect, l'esprit de concorde et de distinction se produisent, le cœur qui aime sincèrement pénètre tout.

Kong-tze dit que l'on doit se vaincre soi-même et restaurer les rites. C'est cela la bonté. Si l'on sait vaincre et écarter tout sentiment personnel et ainsi rétablir en soi le principe de justice du ciel, la substance d'un tel cœur ne pourra point ne pas être et ses actes ne pourront point ne pas se produire. Assis, soyez grave et modeste; occupé, soyez attentif; devant les hommes, soyez juste et fidèle. Maintenez votre cœur en cet état.

Le cœur du ciel produit toutes choses; en l'homme il aime les autres hommes et sait rendre service aux animaux mêmes. Il réunit les quatre vertus et pénètre les quatre principes d'action.

Tcheng-tze dit que ce qui provient de l'affection est la bonté. Tchou-tze affirme que c'est le principe régulateur de l'affection. Pensée et nature, bien que différentes, sont cependant intimement unies.

Les disciples de Tcheng-tze, ne comprenant pas bien le sens de ses paroles, s'éloignent de l'affection pour ne parler que de la bonté, et en cherchant à expliquer la pensée de Tcheng-tze, ils s'en écartent complètement et tombent dans l'erreur.

7. Il en est qui disent que le cœur contient le savoir et l'intelligence, et que la sagesse est comprise dans la bonté; ils connaissent le nom de la bonté et non ce qu'elle est réellement.

Bien que la bonté, la justice, les rites, la sagesse et l'intégrité diffèrent de la nature, la bonté et la justice en sont les principes suprêmes.

Des éléments, le bois et le feu appartiennent au yang, le métal et l'eau appartiennent au yin, la terre en doit être également.

Quant à la nature, les rites sont l'expansion de la bonté, la sagesse est le point suprême de la justice. L'intégrité sincère doit être nécessairement dans le cœur. La bonté et les rites sont du yang, la justice et la sagesse tiennent du yin. Mais Yuan-ki-tchong soutient que la justice est un principe fort et doit appartenir au yang, et la bonté, qui est faible, au yin. Il n'a pas compris que si certains actes de la justice : décréter, publier, approfondir, sont des actes forts, d'autres, tels que penser, réfléchir, recueillir, amasser, se cacher, se plier, sont faibles.

Digitized by Google

Le Hiang-in-tchiu[1] porte : Le souffle doux et bénin se trouve principalement au sud-est; c'est le souffle de bonté du ciel et de la terre. Le souffle froid et pernicieux domine au nord-ouest; c'est le souffle de justice de la terre et du ciel.

La bonté est la manifestation de la nature; la justice, sa règle d'action.

Il en est de cela comme de l'eau : quand elle commence à couler, elle peut représenter la bonté; quand, en coulant, elle a formé des fleuves, des lacs, elle représente la justice.

Le cœur qui aime, c'est la bonté; aimer ses père et mère, ses autres parents, ses amis, chacun selon son rang et ses droits à l'affection, c'est la justice. Avant tout acte, la justice, les rites, la sagesse, existent dans la substance de la bonté, et de là viennent l'affection, l'intelligence, la haine et la honte, la condescendance et la modestie, l'approbation et la désapprobation qui en sont issues et se manifestent.

Meng-tze met en premier lieu le cœur compatissant, puis l'explique par les quatre principes d'action[2].

8. Si l'on pose d'abord l'existence du principe producteur, les rites, la sagesse, la justice et l'intégrité sincère existent comme conséquence. La bonté est le principe premier, il est antérieur et supérieur au reste. La vérité (*unenggi*) est la loi du destin céleste. Le milieu est la loi de la nature, la bonté est celle du cœur; ainsi disant, l'on distingue convenablement le faible et le fort, le vrai et l'illusoire. Mais on ferait mieux encore de substituer le mot « vertu, puissance » à « loi » : ce serait plus exact et plus précis[3].

La loi de la bonté se résume en ce mot : rectitude[4]; mais la rectitude n'est pas la bonté, car tout en ayant atteint la rectitude du cœur, on peut être dur, porté au blâme, incapable d'affection.

On a dit que la compassion est le développement de la bonté et que l'affection est le mode d'action de la bonté. En quoi diffèrent le développement et le mode d'action? La réponse à cette question est que la compassion

1 Règles pour boire le vin dans les cantons. *Li-Ki*, L. 45.

2 Indiqués à la phrase suivante.

3 La loi est un terme trop abstrait. « Le faible et le fort, etc. » sont des termes généraux indiquant simplement les diverses parties d'une distinction.

4 La bonté sans rectitude n'est plus la bonté.

est le développement de l'affection par le sentiment. Sans compassion, l'affection, existât-elle même, n'atteindrait pas l'homme. La bonté est semblable à l'eau; l'affection, à l'humidité communiquée par l'eau; la compassion, au courant de l'eau.

La bonté et la sincérité intègre se distinguent ainsi : la sincérité intègre s'occupe seulement des autres; après avoir vaincu ses sentiments personnels, et s'élevant au-dessus de soi-même, on acquiert la bonté [1].

La bonté fait du ciel, de la terre et de tous les êtres comme un seul être. Les hommes et les choses ont reçu le khi du ciel pour leur production, en sont nés, en sorte qu'ils n'ont qu'une même substance. De même que des frères ont des formes différentes, tout en étant nés des mêmes père et mère; ils doivent ainsi tous s'entr'aimer.

9. Les hommes qui ont la bonté en partage ont le cœur droit, large, sincère; en lui se manifeste le principe rationnel [2] et il peut ainsi faire du ciel, de la terre et de toutes choses comme un seul être. En est-il ainsi?

Oui, quand on aime il en est ainsi de soi-même. Si l'on aime ce qui n'appartient pas au même corps, on saura aimer ce qui y appartient et qu'on ne peut ne pas aimer. Ce par quoi on aime, c'est qu'on a ce cœur; ce par quoi on ne peut pas ne pas aimer, c'est qu'on a (comme) le même corps [3]. La bonté est la loi de l'amour; cette loi est comme la nature de l'être vivant.

La règle du cœur consiste en ce que la rectitude (*i* 義) règne à l'intérieur. La convenance (*ī* 宜) [4] dans les affaires s'entend des manifestations de cette droiture à l'extérieur. Cet extérieur et cet intérieur réunis constituent la règle du cœur. La manifestation complète de l'intérieur est la convenance (*ī*). Si l'on considère ce qui convient à toutes les espèces et à chacune, c'est le *ī*. Cela ne se rapporte donc pas purement à ce qui est extérieur à chaque être ou chose.

10. En toute chose, ce qui est en elle et ce qui lui convient, c'est le *i*, la

[1] Celle-ci implique de plus le triomphe sur soi-même.

[2] Le cœur vraiment bon, réalise, manifeste en lui la loi morale.

[3] Le premier et plus faible degré de l'amour est d'aimer ce qui nous appartient; cela, on ne peut point ne pas l'aimer. La perfection est d'aimer tous les hommes et tous les êtres.

[4] Ce mot désigne ce qui est en harmonie, ce dont toutes les parties s'accordent parfaitement, ce qui est juste et convenable, la bonne ordonnance des choses. Le caractère indique la réunion de plusieurs sous un toit.

Digitized by Google

rectitude. De là cette parole de Tcheng-i-tchuen : Tout ce qui est inhérent à l'être est le principe rationnel (*li*)[1]; ce qui constitue son individualité est le *i*. Ce principe est comme un sabre aigu qui sait diviser toute chose. Ce n'est point la vertu de diviser, mais le principe qui est ce couteau.

La bonté est le premier des principes d'action; la sagesse en est le complément, elle complète tout jusqu'au bout. Ainsi le Yuen est la principale des quatre facultés. Le Yuen ne naît pas du Yuen, mais du Tchang[2]; si les transformations, les opérations du ciel et de la terre ne rassemblaient point; elles ne pourraient disperser.

L'accord de la bonté et de la sagesse est le pivot de tous les achèvements. Ce principe (*li*) agit circulairement, sans fin; il est complet, sans interstice; mais si le perfectionnement (Tchang) manque, c'est comme s'il n'y avait pas eu de commencement.

La bonté et les rites appartiennent au yang, à la simplicité pure; la justice et la sagesse appartiennent au yin.

La sagesse recueille et rassemble, réunit, compare. Ainsi, quand on sait le oui et le non, le pour et le contre, on a tout ce qu'il faut, il n'y a pas besoin d'exercice, de même que pour la bonté, la justice et les rites.

Ces trois vertus et la sagesse sont les quatre qualités de la nature. L'honnêteté, qui est la cinquième, donne leur réalité à ces quatre vertus; elle est pour celles-ci ce que la terre est pour les autres éléments; sans la terre, les autres éléments n'auraient point de base pour subsister[3].

[1] Le *i* est cette rectitude qui fait que chaque chose est ce qu'elle doit être et est en réalité. C'est par cette appropriation à chaque être particulier qu'elle ressemble au sabre qui divise et sépare toutes choses. Le *li* est le principe rationnel général, s'appliquant selon les cas particuliers; il est intime et inhérent à l'être.

[2] Pour ces quatre principes, voir page 26. Le *Yuen* est le commencement; le *Tchang* est le perfectionnement. Le *Yuen* ne peut naître de lui-même; il vient d'un achèvement antérieur. (Mais alors d'où vient celui-ci? A cela, pas de réponse.)

[3] Le Sing-ming continue encore sur ce ton. Mais tout ce qu'il nous donne encore n'est qu'une longue suite de répétitions ou d'amplifications sans aucune valeur, ni aucune idée nouvelle. Ici, vraiment, les auteurs du Sing-li-tsing-y ont oublié leur principe fondamental et les défauts de leurs prédécesseurs qu'ils voulaient corriger. Il est vrai que nous ne sommes pas bien à même de juger ce qui peut paraître important ou intéressant aux yeux des Chinois. — Dans tout le traité, du reste, nous avons dû souvent abréger et même résumer pour le même motif.

Digitized by Google

PARTIE II.

Li-khi. — Loi rationnelle et substance.

INTRODUCTION.

Dans l'introduction du *Sing-ming,* nous avons exposé tout ce qui concerne l'origine, la composition et le caractère du *Li-khi.* Il nous reste à donner un aperçu de ce qu'il contient et du système qu'il explique. Le *Li-khi,* comme son nom l'indique, expose les principes constitutifs de l'être en général et des êtres particuliers, principes qui forment la source et le fondement de leur existence comme de leurs actes.

Le premier chapitre est donc une ontogonie. Voici comment Tcheng-tze et ses disciples conçoivent l'origine de l'être :

« Au commencement était l'être absolu, universel, indistinct, composé de deux principes ou éléments : le *khi* et le *li.* Le *khi* était la substance universelle existant à l'état atomique, vaporeux, imperceptible. Le *li* était l'élément rationnel de l'être général, élément qui donne sa nature et sa loi à chaque être particulier sorti du *khi* universel. Mais ces deux principes, quoique différents d'essence, n'existent pas l'un sans l'autre ; le *li* n'est que la partie supérieure, fine, pure et impénétrable de l'être total qui se rend visible par le *khi.* Ce n'est pas davantage une intelligence personnelle, un esprit ; ce n'est qu'une sorte de faculté ou de principe d'action. Il ne faut pas, du reste, demander à nos philosophes une notion exacte de sa nature ; ils ne pourraient la donner, car ils ne la conçoivent pas bien eux-mêmes et restent le plus souvent dans le vague.

» Le principe rationnel, comme le *khi* originaire, ne tombe pas sous les sens ; ce sont l'un et l'autre « le vide », « le non ».

» Dans la formation des êtres particuliers, le *li* agit le premier. C'est lui qui a spontanément pressé le *khi,* et, sous son action, la masse vaporeuse, invisible, s'est condensée et a pris différentes formes, ce qui a constitué les êtres. »

Digitized by Google

Dans ce système, le Tai-kih disparaît ou n'est plus que le point central de l'univers, le pivot de tous les mouvements du monde; ou bien encore, selon Tchou-hi, c'est le *li* lui-même.

Cette conception, si nouvelle pour la Chine lettrée, est la création de Tcheng-tze, qui vivait dans la seconde moitié du X^e^ siècle et la première du XI^e^ et qui fut le maître lointain de Tchou-hi. La préface du *Sing-li tsing-i* l'attribue à la fois à Tcheng-tze et à Tchang-tze; ce qui ferait croire qu'elle avait déjà été émise par le second, et que son disciple se borna à la compléter. On remarquera, du reste, dans notre texte, que dans l'exposé de ces idées, chaque maître mettait un peu du sien, ajoutait ou modifiait l'une ou l'autre notion, d'après ses réflexions personnelles. Nous avons ainsi un résumé de tous les systèmes particuliers qui méritaient une mention quelconque.

Tout ceci est la matière du premier chapitre. Dans les sections suivantes, notre traité n'est plus seulement philosophique, mais il devient cosmologique, astronomique et géographique même. Cela ne doit point étonner; pour les philosophes de l'école de Tcheng-tze, la formation de l'univers est l'œuvre du *li*; l'étude de sa constitution est du ressort de la philosophie, quelque partie du monde que l'on envisage. Le soleil et les étoiles, comme la terre et les animaux, ont été formés de la même manière.

Nous apprenons donc, dans ces chapitres, comment se sont formés, de quoi sont composés le ciel et la terre, le soleil, la lune et les astres, les cinq éléments, le yin et le yang; quels sont leurs mouvements et leur action; nous y voyons enfin les lois astronomiques du ciel, la description générale de la terre et les causes du soulèvement comme de l'abaissement des eaux de la mer.

On y retrouvera tout entier ce système qui met à l'origine des êtres le *khi*, ou masse indistincte de la substance universelle, à l'état vaporeux et inaccessible aux sens, substance contenant deux puissances distinctes, le yang et le yin, ou le k'ien et le kven, que l'on connaît suffisamment. Mais, vu le mode de composition du livre, on ne doit pas s'attendre à une uniformité complète, à une parfaite concordance entre toutes les sentences qui y ont été recueillies.

Digitized by Google

Ainsi, au commencement du chapitre II, nous voyons que le ciel seul est *khi* pur, et la terre, « forme »; c'est que le ciel est invisible et par conséquent est resté du *khi* non condensé. La terre s'est formée par la condensation du *khi* sous l'action du principe *kven* ou *yin*. Même après sa formation, la terre ne produirait rien si son *khi* ne s'élevait et ne rencontrait celui du ciel, mû par l'action du *k'ien* ou *yang*. Le soleil et la lune sont formés de même du yang et du yin et ont entre eux les mêmes rapports que le ciel et la terre.

Le chapitre V nous fait connaître en détail la nature et l'action de ces deux principes; on verra que le *khi* y est entièrement oublié. Ce sont ces deux agents qui donnent aux êtres leur substance, leur forme, leur couleur et apparence spéciales. Au premier, ils doivent la chaleur, la solidité, la sécheresse et l'éclat; au second, l'humidité, le froid, la légèreté, l'obscurité. Les natures mâle et femelle sont aussi l'effet de leur prépondérance. Les cinq éléments et leurs vertus particulières proviennent également de la prédominance en leur substance, soit du yin, soit du yang, soit de la combinaison de ces principes.

Ces quelques mots suffiront certainement pour faire comprendre les notions fondamentales de ce système. Le texte en fera connaître les particularités ainsi que les lois de l'astronomie et de la cosmogonie, telles que les concevaient les adeptes de la « Philosophie de la Nature ».

Remarquons seulement, en terminant, que les rédacteurs du *Li-khi* n'ont pas su éviter complètement dans ce livre, non plus que dans le *Sing-ming*, les défauts qu'ils reprochaient au *Sing-li ta-tchouen*. Aussi nous avons cru devoir omettre, par-ci, par-là, certaines phrases qui ne présentaient que des répétitions ou des réflexions oiseuses.

Ainsi seulement on pourra dire que « l'on a su rejeter l'écaille pour prendre le noyau et éviter de rendre l'eau pure insipide ». Ces retranchements se bornent, il est vrai, à peu de chose, mais encore étaient-ils nécessaires pour que l'on pût continuer la lecture jusqu'au bout.

Digitized by Google

LI-KHI.

CHAPITRE I. — *Principes suprêmes* LI *et* KHI.

(Tous les êtres sont constitués et proviennent des deux principes suprêmes : le *li* et le *khi* (la loi, le principe rationnel et le *suppositum*, la substance qui devient visible). Celui-ci comprend les deux principes actif et passif, réceptif et productif, *yang* et *yin.*)

1. Tout ce qui a forme extérieure est *khi.*

Ce qui n'a point de forme extérieure est uniquement *tao* [1] (loi, principe, règle intellectuelle et morale, ordre intellectuel et moral).

Le *yin* et le *yang* sont *khi,* sujets à la forme.

Le *tao* est le Grand-Vide [2], supérieur à la forme.

Mais en dehors du *yin* et du *yang,* il n'y a point de *tao* qui existe séparément. (Tcheng-tze.)

2. Entre le ciel et la terre se trouvent le *li* et le *khi.*

Le *li* est la loi supérieure à la forme, le fondement de la production, de la naissance des êtres.

Le *khi* [3] est, sous la forme, le réceptacle, l'instrument, le moyen de la naissance des êtres.

Ainsi, lorsque les êtres se produisirent, le *li* fut d'abord répandu, puis la nature apparut; le *khi* ayant été répandu, la forme se produisit.

Mais le *li* n'est pas antérieur au *khi* et ne peut en être séparé. Le *li* n'est que la partie supérieure de la forme, le *khi* en est la partie inférieure. Entre deux parties d'une même chose, il n'est point question d'antériorité ou de postériorité.

Le *li* n'a point de forme, le *khi* est la partie grossière, fondamentale, le

[1] *Tao* se confond ici avec *li.*
[2] L'invisible, l'intellectuel vide de forme.
[3] La substance universelle, d'abord à l'état vaporeux, invisible, sans forme; puis prenant forme par la condensation de ses parties. (Cp. p. 148.)

Digitized by Google

sédiment. Le *li* est la base du *khi,* sa racine; ce *li* ne peut être divisé, il est une chose unique. Le *li* est dans le *khi* et ne l'a point précédé. Sans le *khi,* le *li* n'aurait pas de point d'appui.

Le *khi* se compose des éléments : métal, bois, eau, feu, terre.

Le *li* se compose de la bonté, la justice, le rite, la sagesse, etc. [1].

Avant le ciel et la terre, il ne pouvait y avoir que le *li,* mais dès qu'il existait, le ciel et la terre devaient exister. Sans lui, point de ciel ni de terre, point d'homme ni d'objets, rien pour contenir et supporter les êtres.

Mais dès que le *li* existe, le *khi* doit être également; existant, il agit, se répand, produit et développe toutes choses. Le *li* est le fondement; le *khi,* se développant, produit, entretient; le *li* n'a point de forme.

Le Principe suprême *Tai kih* est le *li* du ciel et de la terre et de tous les êtres. Il réside en eux en général et en chaque chose en particulier. (Tchou-tze.)

Le principe rationnel (*tao*) du ciel est le *li;* le yin et le yang, comme les cinq éléments, forment le *khi;* sa loi est : un *yin* et un *yang* [2] (le concours en tout d'un principe yin et d'un principe yang).

Le *li* et le *khi* sont tout à fait distincts, ils ont leur nature propre, tout en se réunissant dans l'être visible comme parties supérieures et inférieures.

Le *li,* sans forme, sans apparence extérieure, est infini; le *khi* a un terme et s'épuise. Le *li* est une source unique, le *khi* est de dix mille espèces. Aussi le *li* lui est supérieur. (*Koang shi k'en.*) Comme il est sans forme, il se manifeste par le *khi.* Si l'on réfléchit bien, on en pénétrera toute la nature.

Un double *khi* se répandant, engendre et est engendré jusqu'au delà des âges, sans avoir jamais achevé son œuvre. Mais le *li* le domine; placé en lui, il en fait le pivot, le principe résumé, et par lui la perfection de l'être se répand, engendre et est engendrée, sans fin ni cesse.

Le *li* ne diffère pas du *Tai-kih. Kih* est l'extrémité. Placé au milieu, il est comme le pivot, comme le roi, comme l'étoile polaire, centre et terme, ou comme la poutre d'une maison qui est au centre et supporte tout, en est

[1] Les quatre principes de vertu expliqués au Sing-ming.
[2] Cp. le *Hoang-kih* ci-dessus.

Digitized by Google

le point supérieur. De ce point, toute chose dérive; en lui tout s'adapte comme dans un centre, se dispose convenablement des quatre côtés, parfaitement en ordre, sans rien de superflu ou de défectueux.

De même aussi tous les astres entourent l'étoile polaire et tournent autour d'elle, sans que celle-ci bouge ou se remue.

Le *Tai-kih* est donc le *li* autour duquel le ciel tourne perpétuellement, qui met en ordre toutes les choses terrestres, qui, sans cesser jamais, produit et fait produire les animaux et les hommes.

Centre de tout, le *li* domine tout; tout existe à son gré. Comprenant tout, fin et terme de tout, réunissant en lui le principe rationnel du ciel, de la terre et de tous les êtres, une fois communiqué à ces êtres, il ne les quitte plus; principe caché du ciel, de la terre, de l'homme et des choses, par qui toutes existent, donnant à chacune sa perfection sans le moindre manquement ou défaut, tel est le Principe suprême *Tai-kih* [1].

Chapitre II. — *Ciel et terre.*

Tout ce qui est *khi* est ciel; tout ce qui est forme (*heng*) est terre. La terre est donc un objet placé au milieu du ciel. Elle est comme une vapeur nuageuse qui s'amasse, se condense et forme, à la longue, un corps solide ne se dispersant plus. La terre (*ti*) est ici le sol, car c'est la même chose. On ne doit pas la désigner par le mot *tu* [2].

C'est par le *k'ven* (principe réceptif) qu'elle reçoit et subit l'action du Grand Ciel; c'est la loi de la terre.

Le ciel répand, étend et recouvre; ce qui achève, c'est la terre [3].

[1] C'est-à-dire le *li*. Le *li* ou le *Tai-kih* de ce traité n'est évidemment pas un être personnel, un esprit, puisqu'il fait partie du khi ou du même ensemble que le khi et ne peut en être séparé. Quelle idée s'en faisaient précisément nos auteurs, c'est ce qu'ils ne nous disent point; il paraît fort probable qu'ils n'en avaient eux-mêmes qu'une notion vague.

[2] *Ti* est le globe terrestre; *tu* est le sol, la terre élément.

[3] Le ciel, ou le yang, répand, disperse la substance du khi, mais cela ne suffirait pas pour former un être. La terre reçoit cette substance répandue, dispersée, elle l'arrête, la condense et lui donne sa forme et sa consistance particulières.

Digitized by Google

Le ciel et la terre, le soleil et la lune, sont en cela identiques.

La lune, en empruntant la lumière du soleil, ne la diminue pas; l'éclat de la lune est celui du soleil.

La substance *khi* de la terre s'élève; sans cela, celle du ciel ne descendrait pas vers elle. C'est parce que la substance du ciel descend et pénètre la terre que les êtres naissent de celle-ci; le tout se fait par le *khi* du ciel. (Tcheng-tze.) C'est ainsi la loi de la terre.

Il est dit, quant au Shi-king : Toute pensée qui exprime la domination, le secours, a Shang-Ti pour objet. Toute pensée qui se réfère à ce qui comprend, enveloppe et recouvre de toutes parts, a le ciel pour objet [1].

On a beaucoup parlé du milieu de la terre. En mesurant d'après l'ombre, on l'a estimé à 30,000 lis. Prenant la limite extrême d'un côté, on trouve 15,000 lis comme l'axe de rotation du ciel et de la terre, le fondement de la succession dans le temps. Ce milieu est donc le milieu du temps.

Dans la forme de la terre il y a haut et bas, mais partout où l'on va, c'est son milieu, on ne peut le fixer à un point. Comme par suite de cette forme on ne connaît pas le centre, on ne peut connaître entièrement les changements du ciel et de la terre (*wen*). Si l'on reconnaît un milieu qui ne change point, il y aura devant, derrière, droite et gauche. S'il y a ces quatre côtés, il y aura aussi proximité et éloignement que l'on pourra compter. Que cela s'étende à cent fois dix mille, à des myriades innombrables, il y aura toujours un nombre appréciable. S'il y a nombre, il y aura toujours une fin, une limite. Comment donc ne sait-on pas cela?

Commentaire. — Le corps de la terre est rond et n'a point de surface avec coins. Si l'on donne à la forme de la terre une étendue de 30,000 lis, 15,000 en seront nécessairement la moitié. Cela étant, si l'on va de l'Empire du milieu jusqu'au Si-Yih (Inde et Tibet), la moitié étant de 15,000, que l'on regarde le ciel et la terre, de là ou de la Chine, ce sera toujours la même chose. Ainsi, grâce à la forme ronde de la terre, en quelque lieu que l'on soit, le milieu est toujours le même.

[1] La nature et la fonction de l'un et de l'autre sont ainsi bien déterminées. Le ciel est l'élément qui recouvre; Shang-ti est la personne qui secourt et domine.

Digitized by Google

Les objets carrés ont devant, derrière, droite et gauche, et eussent-ils même des myriades de myriades de lis, ils finiront toujours par avoir une limite. A la terre on ne connait point de fin; il est donc certain que son globe est sans limite ni milieu fixe en un endroit.

CHAPITRE III. — *Soleil.*

1. La forme du soleil est visible à tous; elle est semblable à une roue, à une pastèque. Si cette forme a une limite, sa lumière en a une également. Si pour une ligne courbe (ronde), montant et descendant, on comptait 30,000 lis, cette lumière ne l'égalerait pas [1]. Mais peut-on l'apprécier ainsi?

L'azur du ciel en est-il la forme matérielle? Si l'on regarde en bas, cela paraît ainsi.

Mais le soleil est la moelle du yang, et d'après le vieux dicton : « il marche en faisant un cercle parfait. » Au milieu est le mont Siu-mi-shan [2]; en quelque lieu qu'il soit, il n'est pas sans son essence éthéréale, de même que la terre a partout son milieu.

2. Le *khi* se répand et se développe complètement dans le sein du ciel et de la terre; le *khi* a donc aussi cette essence et c'est pourquoi son apparence est comme la circonférence d'une roue ou d'une pastèque.

Prenons un exemple : Si l'on arrange un tas de bois et que l'on mette le feu à un bout, bien que le feu avance et pénètre de plus en plus, son éclat reste toujours le même [3]. N'étant qu'une seule et même chose, son action n'est pas successive et variée.

Le *khi*, dans son mouvement, arrivant à l'aire du tigre [4], cette aire est pleine de lumière; s'il vient à celle du lièvre [5], la lumière s'y répand égale-

[1] Un rond lumineux de 30,000 lis ne l'atteindrait pas. Le *li* a environ 1,800 à 1,900 pieds.

[2] C'est le *Su-meru* de l'Inde que les Bouddhistes ont fait connaître en Chine. Le khi, ayant partout l'essence éthéréale du soleil, est partout rond comme celui-ci.

[3] Ainsi le soleil avance, gardant toujours le même éclat.

[4] Espace du ciel où le soleil est de 3 à 5 heures du matin.

[5] Idem, de 5 à 7 heures.

Digitized by Google

ment; ainsi il n'est point de lieu que le *khi* n'atteigne et ne remplisse. Celui qui comprend cela, comprend la production de toutes choses.

Le soleil est la substance éthéréale, le *khi*, sans forme ni corps; à son lever comme à son coucher, il n'est jamais sans cette substance; il n'est point d'endroit où ne brille sa lumière.

Le ciel azuré est le *khi*, il n'a donc point de corps ni de forme; le soleil est aussi du *khi*, c'est pourquoi il n'en a pas non plus.

Un dicton (d'un livre de mathématiques) porte que le ciel est comme un chapeau de paille porté sur une tête [1]; la terre est comme un plat retourné; d'après le dire de Bouddha, que le soleil et la lune tournent autour du mont Siu-mi-shan, la terre est une boule et le soleil tourne tout autour. Quoi qu'il en soit, la lumière principielle brille toujours. Depuis on a dit que la terre est plate. Ce langage différent ne vaut pas l'ancien. Ce qui se trouve à la fin, que le soleil est le fondement de la substance du yang, que la manifestation brillante de son essence est comme une boule, sa substance simple, répandue et pleine, pénètre partout, c'est le complément de l'ancien dicton.

3. Le *kih* [2], le pôle suprême, est le milieu du ciel et de la terre; c'est ainsi le principe rationnel qui est également des deux côtés [3].

Les gens de nos jours, en donnant un corps au ciel, le font uniquement d'après la vue. Cherchant des yeux la place du point suprême, ils ne peuvent voir son extrémité et lui croient une fin. Depuis jadis, sous le Nan-kih [4], on a vu dix grandes étoiles au-dessus de la mer. Mais on ne peut pas déterminer le corps apparent du ciel [5]. La distance du lever et du coucher du soleil et de la lune ne dépasse pas 30,000 lis. De l'Empire du Milieu jusqu'aux pays de Shan-Shan et So-keu [6], il y a 15,000 lis. Si de là on regarde le soleil,

[1] Servant de couverture. Un grand chapeau de bambou fait pour la pluie; ou bien : le couvercle d'une corbeille de bambou. On concevait le ciel et la terre comme une immense écuelle retournée (le fond bombé mis en l'air), recouverte d'un chapeau ou d'un couvercle en forme de demi-sphère.

[2] La poutre faîtière d'une maison; le point central supérieur du ciel.

[3] C'est la pierre angulaire, le faîte autour duquel le *li* dispose tout.

[4] Le *Nan-kih* est le pôle sud.

[5] On ne saurait déterminer ni sa nature, ni sa capacité, ni ses limites. Ou : le sommet ne s'apercevant pas, ils lui assignent néanmoins une fin.

[6] États du Thibet.

Digitized by Google

on est comme au milieu des 30,000 lis. La terre a des parties froides et des parties chaudes, et cela à cause de ses parties élevées et de ses parties basses. C'est comme le devant et le derrière d'une maison, dont l'un peut être froid tandis que l'autre est chaud. Le devant au midi n'est pas froid, mais le nord-ouest l'est davantage.

Tcheng-Hao, étant allé à Tchi-tcheou, mangea trois fois des pousses d'ail. Il avait d'abord mangé de l'ail à Hoai-tcheou; après celui de Tchi-tcheou il en goûta à Ping-tcheou. Il sut que sur l'espace de cent lis il avait passé trois mois. S'il en avait encore fait autant, il aurait tardé une demi-année entière, et, de la sorte, ayant été en tel endroit au solstice d'été, il se fût trouvé dans l'autre au solstice d'hiver.

Commentaire. — Plus haut il est dit que l'est et l'ouest de la terre ne sont point fixes et immuables en un point central; ici il est dit que le nord et le sud, ne l'étant pas davantage, la conséquence est la même. Au royaume du Milieu, l'étoile polaire se montre, mais le Nan-kih ne s'y voit point. Au delà de la mer, c'est le contraire; on y voit le Nan-kih, mais point l'étoile polaire. Au sud et au nord il y a des endroits chauds et froids. Près du soleil ils sont chauds; éloignés, ils sont froids. Le nord et le midi, bien que différents, ont tous deux l'été et l'hiver. De même que l'est et l'ouest, bien que différents, ont également le soir et le matin.

4. Le soleil et la lune sont issus du yang et du yin et en constituent les émanations les plus fortes et les plus puissantes.

L'étoile polaire ne bouge point, partant elle est la partie principale, fondamentale du *khi* et la plus digne d'honneur de toutes les étoiles.

5. Le ciel et la terre ne diffèrent pas de nature (dit Tchou-hi), ils sont uniquement appliqués à produire les êtres. Le *khi* fondamental, son essence se répandant, agissant par un mouvement circulaire sans le moindre arrêt, produit tout, et c'est là sa fonction complète.

Selon le dire de Tcheng-tze, le ciel n'a pas de cœur; il produit les quatre saisons et engendre les êtres; cela ne requiert pas de cœur.

Le saint a un cœur, mais sans préoccupation ni effort, parce qu'il suit

Digitized by Google

naturellement la justice. Le ciel et la terre produisent les êtres sans partialité ni faveur, par un principe d'égalité matérielle; ils n'ont donc pas de cœur. Le saint est par nature porté à se conformer aux désirs et besoins des êtres, il est donc tel sans réflexion.

Tchou-hi, de son côté, dit que le ciel et la terre donnent un cœur aux êtres d'une manière parfaitement égale; donné aux hommes, il forme le cœur des hommes; donné aux choses, il forme également leur cœur; mais c'est toujours le cœur du ciel et de la terre, et ce cœur est la règle de morale et de droit, le maître universel, le principe rationnel de toutes choses; il n'y a pas de principe hors de ce cœur, ni de cœur hors de ce principe. Et ce cœur est ce qu'on appelle *Ti*[1]. Homme et ciel sont synonymes; cœur et *Ti* le sont également, d'après Tchou-hi.

6. Le ciel et la terre ne sont originairement que le *khi* du yin et du yang. Ce principe substantiel se mouvant circulairement, se choquant en ses parties, ayant, en quelque sorte, exprimé sa lie en grande masse et celle-ci se trouvant au centre, sans plus le quitter et se coagulant, a été la terre formée au centre.

La partie pure de ce *khi* est devenue le ciel, le soleil, la lune et les étoiles qui se meuvent au dehors et tournent circulairement.

La terre est au milieu, immobile et non en dessous (de l'univers). Le ciel tourne sans cesse tout autour et soutient ainsi la terre au centre. S'il s'arrêtait un instant, la terre, sans point d'appui, tomberait dans l'espace inférieur. C'est uniquement par son mouvement rapide de rotation que le ciel maintient coagulé au centre du monde un amas de scories du *khi*. Cet amas, c'est la terre. Ainsi le ciel est pur et léger, la terre est lourde et comme une liqueur trouble.

7. Le ciel et la terre, à leur origine, étaient un choas où tout était mêlé

[1] C'est-à-dire « le maître souverain. » Précédemment il est dit que le cœur est le maître du monde, *tchu-tsai*. C'est la même idée. Tchou-hi a-t-il voulu faire entendre que c'était là, à ses yeux, la signification de Shang-ti? Cela n'est pas probable. S'il eût eu cette intention, il se fût expliqué autrement. D'ailleurs, en d'autres endroits, il parle de Shang-ti tout différemment. Par exemple, au Tsieh Yao, il dit : faites toutes vos actions comme en présence de Shang-ti. (Voir le livre IV, f° 3.) Le mot *ti* seul s'emploie souvent dans un tout autre sens que Shang-ti.

Digitized by Google

sans distinction. Il n'existait proprement que feu et eau. Les scories de l'eau formèrent la terre.

Maintenant encore, si d'un lieu élevé on regarde au loin, toutes les montagnes ont une forme ressemblant à des vagues. C'est qu'elles se sont formées de l'eau qui, au commencement, flottant, tournoyant avec violence, se condensa et, s'élevant comme une forte marée, souleva le sable amoncelé. Minces et légères à l'origine, elles sont devenues dures et lourdes après avoir tournoyé comme le sable, emportées par les eaux.

La partie la plus opaque et impure de l'eau a formé la terre.

D'autre part, la partie la plus brillante du feu est devenue le vent et le son, le tonnerre et l'éclair, le soleil et les étoiles, etc.

8. La notion (de l'étendue restreinte) du dedans et de l'extérieur est étrangère au principe rationnel [1]; elle ne l'est point à la conception des six régions du monde [2] qui ont dedans et dehors.

Les astronomes scrutant le *khi* ne peuvent parvenir que jusqu'à la région du soleil, de la lune, des étoiles et de l'éther. Au delà, ils ne peuvent aller. Pour cela n'y a-t-il point dedans et dehors?

9. Les Tao-sse disent qu'au lieu supérieur est concentré le vent qui souffle en toutes les régions; conséquemment le *khi* de cet endroit est pur et d'une activité extrême. Dans les lieux inférieurs, le *khi* est en désordre, dispersé et doux, sans grand mouvement.

Qu'on y réfléchisse bien : plus on s'élève sur les hautes montagnes, moins l'homme peut s'y arrêter [3].

10. Le *Li-sao* [4] parle de neuf cieux; d'où les commentateurs ont conclu qu'il y a neuf cieux superposés. Pour moi, plus j'y pense, plus je vois qu'il n'y a que neuf étages ou orbites. Le ciel développe le nombre de ses orbites par son mouvement circulaire; à l'intérieur, le premier orbite est très léger; du côté de l'extérieur, ils deviennent de plus en plus compacts et lourds. Le neuvième est comme une écorce forte et épaisse et le mouvement tournant y est d'autant plus rapide.

1 Il est sans étendue; il n'occupe pas un lieu restreint.
2 Ce sont : le nord, le sud, l'est, l'ouest, le zénith et le nadir.
3 Parce que le khi y est trop mobile, actif, pénétrant.
4 Poème du IIIe siècle A. C. Ou simplement : les astronomes.

Digitized by Google

Commentaire. — Ces neuf étages, mentionnés d'abord en général, ont été par la suite distingués avec précision et ont recu des noms particuliers. L'auteur du *Hoang-li* en donne, le premier, la nomenclature. Le premier tourne par la vertu d'un *khi* qui est le principe de tous les autres mouvements; il l'appelle *Tchong-tong-t'ien* « le ciel du mouvement, du moteur principiel ». Les suivants portent les noms de cieux de l'étoile Heng, de l'astre terrestre, de l'étoile du bois, du feu, du soleil, de l'or, de l'eau, de la lune (*tai yin*)[1]; chacun a son élévation, son éloignement, son rang déterminés. Si l'on part du côté gauche, celui qui tourne le plus proche de l'extérieur est celui dont le mouvement est le plus rapide. C'est là ce que dit Tchou-hi, qu'il tourne avec rapidité.

Chapitre IV. — *De la terre.*

11. La terre est au milieu du ciel; relativement, on ne peut la dire grande. C'est uniquement par le mouvement du soleil et de la lune que l'on peut en juger. Le ciel entoure toute la terre; son *khi* est d'une grande rapidité d'action et se porte toujours en haut. Sa forme et sa matière se coagulant, se condensant avec grande activité, ont formé son corps.

Le *khi* central étant léger et doux, a pu produire avec ordre toutes les espèces d'êtres.

Le ciel, suivant sa loi, tourne vers la gauche; le soleil, la lune et les étoiles tournent aussi vers la gauche, mais les étoiles ne s'appuient pas sur le ciel.

Le ciel est le *khi* du yin et du yang et se trouve en haut. L'homme le regardant d'en bas, voit les étoiles et le ciel comme se mouvant ensemble (les étoiles suivant le ciel).

12. On à toujours considéré la lune et les étoiles comme le corps du ciel; mais Tchou-hi dit qu'ils n'en font point partie intégrante. Cela concorde avec le dire des astronomes.

La lune est par elle-même sans lumière; elle l'emprunte du soleil.

[1] Voir plus loin.

Digitized by Google

13. A la nouvelle lune, cet astre est en bas et le soleil en haut. La face de la lune tournée vers le ciel est brillante, l'autre partie qui regarde la terre est obscure; les hommes ne la voient pas.

A la pleine lune, la face tournée vers les hommes est lumineuse, c'est pourquoi on voit son disque en entier. Ainsi elle a toujours une moitié brillante. Aux quartiers, elle a un quart proche et trois quarts éloignés, mais elle reçoit et projette encore de l'éclat.

14. La lune brille comme l'eau réflétant les rayons que le soleil projette sur sa surface comme sur un mur qui les répercute.

Le ciel est du *khi* condensé; en ses hauteurs il est solide; au centre il est vide. C'est pourquoi le soleil et la lune y circulent. La terre est au centre, peu grande; elle a le vide des quatre côtés. Parfois la lune, placée au milieu du ciel, et le soleil, ayant la terre entre la lune et lui [1], ses rayons atteignent la lune des quatre côtés et sont retenus par elle, le milieu est obscur et caché à la vue par suite de l'ombre que la terre projette sur elle [2]. Après la pleine lune, le soleil et la lune se mouvant tous les deux, la lumière de celle-ci diminue par derrière, et comme ils s'éloignent constamment l'un de l'autre, la partie éclairée varie à chaque instant et lorsqu'à la nouvelle lune ils se rencontrent de nouveau face à face et que la lune cache le soleil [3], celui-ci est mangé (éclipsé) et ne brille plus.

15. Si à la nouvelle lune le soleil est éclipsé, c'est que la lune est en bas et le soleil en haut lorsqu'ils se rencontrent; la lune étant en dessous, le soleil est éclipsé. Si, au moment de la pleine lune, c'est cet astre qui est éclipsé, c'est que le yin a osé lutter contre le yang.

Les auteurs du Hoang-li disent que le soleil a une partie obscure et invisible; que le soleil luit à sa surface, mais que son intérieur est obscur. A l'époque de la pleine lune, celle-ci rencontrant la partie obscure est éclipsée (puisqu'elle ne reçoit plus de rayons).

16. Le pôle nord [4] est le pivot du ciel et n'a point d'étoile. Sachant cela,

[1] Se trouvent en face de la terre. Littéralement : au milieu.
[2] Éclipse annulaire.
[3] Littéralement : mange le soleil.
[4] *Peh-tchang*, le sommet nord.

Digitized by Google

et ne pouvant rester sans aucun signe pour le reconnaître, ils ont pris comme tel une petite étoile qui se trouve à côté et l'ont appelée l'étoile extrême [1] (kih shing).

Cette étoile circule aussi, mais à cause de sa grande proximité du centre polaire, son mouvement ne s'aperçoit point.

Les gens de nos jours, la regardant à travers un télescope, ont cru la voir bouger. On peut la voir circuler dans le rayon du verre mais pas au delà.

Chapitre V. — *Le Yin et le Yang.*

17. La substance du yin et du yang qui se maintient constamment et ne se disperse pas, c'est principalement le soleil et la lune.

C'est le chaud et le froid, qui croissent et diminuent sans cesse.

Au solstice d'hiver, une parcelle de yang se produit et le froid augmente d'autant plus; de même qu'à l'approche du jour les ténèbres s'épaississent encore. Entre le yin et le yang, il n'y a jamais d'interstice; ils se succèdent en se touchant d'une manière continue, sans entrer l'un dans l'autre, sans s'endommager ni se dépasser.

Leur action mutuelle est la règle et la loi. Il en est ainsi constamment entre le ciel et la terre. (Commentaire de Tcheng-tze.)

18. Le principe du koua *ken* [2] fait le commencement et la fin des êtres. Il est tout merveilleux et doit être étudié sérieusement.

La substance du yin et du yang se répandant, tous les êtres la renferment. Tout ce qui tient au ciel, tout ce que supporte la terre, tout ce qui se trouve des deux côtés forme un ensemble régulier. Dispersé, ce n'est plus qu'un amas.

La naissance, la forme et la couleur dépendent essentiellement du yin et du yang. Le yang a la substance sèche pour nature, il a les chiffres impairs pour nombres. Ce qui est ferme et pesant constitue son corps, son souffle est chaud, sa forme est ronde. Il s'élève et brille; il se remue et se répand (Li-t'ong). Tout est par le yang, tout existe en lui.

[1] L'étoile polaire.

[2] *Ken* 艮 est limite, point extrême fixe, base solide.

Digitized by Google

Le yin a la nature de l'humide, son nombre est le nombre pair, sa substance est faible et légère; son souffle est froid, sa forme est carrée. Il tend en bas et est obscur; par lui-même en repos, il se coagule, se condense; tous les êtres sont en lui.

19. Le ciel et la terre font dans leur ensemble le grand yin et le grand yang. En un an, existent le yin et le yang d'un an. En un mois, en un jour, en un temps quelconque, se produisent le yin et le yang de ce laps de temps.

Si l'on fait une chose du yin et du yang, on a raison; si l'on en fait deux, c'est également ainsi. Séparés, ils ont deux formes, deux puissances différentes. Unis, ils se composent uniquement d'un mouvement descendant et ascendant, s'élevant et faiblissant. Tels sont le soleil et la lune, l'homme et la femme, l'animal mâle et femelle, considérés dans leur ensemble. Il n'est rien qui ne soit point le yin et le yang. Leurs plus fins atomes sont en rapport entre eux. En ce qui concerne leur activité, leur diffusion, elles subsistent et se parfont en un khi unique (qui constitue l'unité des deux éléments).

Chapitre VI. — *Les cinq éléments.*

20. L'eau et le feu sont brillants; le métal, le bois sont d'un aspect semblable à une eau troublée; la terre l'est encore davantage. Les cinq éléments sont coordonnés entre eux : le premier est le bois, l'eau en est le dernier, la terre tient le milieu. Mais, selon les chiffres du Ho-tu et du Lo-shuh, ils doivent être ainsi rangés : 1° eau, 3° bois, 5° terre. Ces nombres, en effet, donnent naissance au yang et l'on ne peut les changer. Leur échange mutuel, leurs mouvements successifs en font la partie essentielle et la trame des cinq éléments.

Voici les vertus propres à chacun :

Le bois a la vertu de faire pousser et naître; l'eau est la substance même de la pureté et de l'immobilité; la terre est une mère qui contient, soutient et nourrit, développe. Ainsi le bois comprenant tous les éléments, se répandant en tous sens, pénétrant tout, sa vertu n'est absente de quoi que ce soit.

L'eau comprend les autres éléments en ce qu'elle retourne à la source, renouvelle le principe et se tient cachée en lui.

Digitized by Google

La terre sert d'appui à l'eau et au feu et n'est pas moins utile au métal et au bois. Placée au centre (du monde), correspondant aux quatre directions (présentant sa face en tous sens), ne formant qu'un corps unique, elle supporte tout ce qui vient s'y agréger.

Si maintenant on veut répartir les éléments entre le yin et le yang, voici leur distribution :

Le feu et le bois appartiennent au yang; l'eau au yin ainsi que le métal.

Si on veut les exposer réunis :

A un point de vue général, le vert du bois, le rouge du feu, le jaune de la terre, le blanc du métal, le noir de l'eau, sont toutes couleurs appartenant au yang. Le bleu, le brun, le jaune pâle, le gris pâle et le noirâtre sont de la nature du yin (en tant que couleurs intermédiaires ou mixtes).

C'est en considérant ces principes que l'on peut apprendre la nature simple ou mêlée, résistante ou cédant, le principe des cinq éléments. Les êtres purs et brillants brillent à l'intérieur même; ceux dont l'éclat est troublé ne brillent qu'à l'extérieur. A la première catégorie appartiennent le métal et l'eau; à la seconde, le feu et le soleil [1].

Chapitre VII. — *Lois de l'astronomie.*

21. Tchang-tze dit :

Le *Li-fa* (ou lois des corps célestes) est la loi des (corps doués de) formes. Le soleil en est l'objet principal. Quand ce qui le concerne est bien réglé, le reste peut se calculer facilement. (Tcheng-tze.)

(Tchou-hi.) La loi des corps célestes était l'objet le plus important des études des temps anciens. Aussi Shao-hao [2] ayant emprunté aux oiseaux les

[1] L'or et l'argent, comme l'eau, sont brillants ou transparents en toutes leurs parties. Le soleil et le feu brillent dans leurs rayons et la flamme; mais le centre du soleil, comme le point qui brûle et entretient le feu, est obscur.

[2] Empereur légendaire, successeur de Hoang-ti (2597-2513). Il passe pour l'inventeur de différentes choses et entre autres des insignes distinctifs des magistrats : phénix, paons, dragons, etc. Il est également signalé comme ayant laissé, par son indolence, les pratiques de la magie s'implanter en Chine et y régner jusqu'à ce que son successeur y eût mis un terme.

Digitized by Google

titres des magistrats, mit en tête de tous le nom du phénix. L'astronomie ayant été réglée, les années, les mois et les jours furent fixés et tous les travaux, toutes les industries purent être appris et étudiés. Si l'on fixe régulièrement l'année, les mois, les jours, les saisons, on constatera facilement ce que peuvent faire les habiletés de chaque espèce de métier.

Le *Li-fa* est un livre; les objets à forme dont il s'occupe sont les différents corps. Sans leurs règles, on ne comprendrait rien à la nature des trois genres de corps lumineux [1].

Sans les instruments astronomiques (ki, heng), on ne verrait pas où sont les trois êtres lumineux.

22. Le ciel tourne à gauche. Comment marchent le soleil et la lune? De l'est à l'ouest.

Yang-tzai dit que le soleil et la lune tournent à gauche; cela est très vrai.

La loi du ciel est des plus simples. Chaque jour, chaque nuit il parcourt 365 tus ou degrés plus un quart, puis il fait encore un tu.

23. La marche du soleil, bien que rapide, est également ferme et constante.

Moins que le ciel, toutefois, il fait en un jour et une nuit 365 degrés et un quart, restant en arrière d'un degré par rapport au ciel. Après 365 jours, le ciel l'a dépassé d'un quart de jour, et quand le soleil a complété ce quart de jour qui lui manque et se rencontre avec le ciel, l'année est achevée.

24. La lune marche lentement; en un jour et une nuit elle s'écarte du ciel de 13 degrés et plus. Avancer est pour elle suivre la voie du ciel de droite à gauche; reculer se compte dans le sens inverse, opposé à la marche du ciel, de gauche à droite.

Les astronomes n'ont compté que ce dernier mouvement, parce qu'ils regardent la marche en avant comme trop difficile à calculer. Ils disent que la lune va de droite à gauche, que la marche du soleil est lente et celle de la lune rapide.

25. Le ciel tournant de droite à gauche et accomplissant son tour en un jour et une nuit fait un degré; ainsi, calculant sa marche, on prend un degré achevé comme un jour. Le soleil, dans son cours, bien que ne suivant pas

[1] Le soleil, la lune et les étoiles.

Digitized by Google

le ciel, suit cependant l'écliptique. La lune, bien que sa marche soit différente, suit aussi un mouvement sur la même voie et s'écarte sur ses côtés. Aux conjonctions, le soleil et la lune sont en un même endroit, sur un même degré. Le jour de la pleine lune ils sont à leur plus grand éloignement. Dans leurs variations, ils s'approchent d'un degré et s'éloignent de trois.

26. Aux jours de conjonction, bien que sur un même degré longitudinal, la lune est éloignée du soleil dans le sens de la latitude. Leur ligne est-ouest est sur le même degré, mais la ligne nord-sud de l'orbite du soleil étant au plus éloigné, il ne se produit pas d'éclipse.

Si même ils sont près l'un de l'autre, quant à la latitude, comme le soleil est au dedans et la lune au dehors, il n'y pas non plus d'éclipse.

Un exemple éclaircit la chose : c'est comme si quelqu'un portait une lanterne et qu'un autre homme porterait un grand éventail; bien qu'ils se rencontrent, la lanterne ne sera pas offusquée pour celui qui la regarde de la maison, s'ils sont assez éloignés l'un de l'autre; bien que l'homme à l'éventail soit placé entre la lanterne et le spectateur, l'éventail ne cachera pas la lanterne.

Il en serait de même à plus forte raison si l'homme portant l'éventail était plus loin que le porteur de lanterne, quand même il passerait tout contre le second [1].

27. Est-ce que les étoiles tournent de gauche et les planètes, le soleil et la lune, de droite?

Quant à la marche des astres, voici ce que disent tous les gens de science :

Le ciel tourne de droite à gauche; le soleil et la lune en font autant; mais les hommes ne comprennent pas bien cet enseignement de Tchang-tzai, qui est cependant conforme à la vérité. Aussi le Shi-tchuen [2] répète encore les anciennes théories peu scientifiques.

28. La marche réelle est facile à expliquer : prenons une grosse boule et plaçons-la en dehors; puis, en dedans, une beaucoup plus petite où soient le soleil et la lune.

[1] Commentaire. — Le texte dit : « à l'intérieur et à l'extérieur » et non : en haut et en bas. Car pour le pays le soleil et la lune sont au midi tous les deux. Aussi celui qui regarde du nord voit l'un en deçà et l'autre au delà.

[2] *Shi-tchuen*, relation du temps.

Digitized by Google

Supposons que la grosse boule marche très vite, et la petite, lentement; bien que toutes deux suivent le même mouvement de droite à gauche, la rapidité de la première fera croire que l'autre va de gauche à droite. C'est le cas du soleil et de la lune. C'est ainsi.

Commentaire. — Les astronomes, jusqu'à ce jour, ont fait de grandes choses. Ils ont fait du ciel Tchong-tong un grand cercle, et depuis le ciel de l'astre Heng [1] jusqu'au ciel de la lune, neuf sphères formées graduellement en se rétrécissant et diminuant petit à petit.

Au-dessus du globe fondamental du soleil, de la lune et des cinq astres, sont des petits cercles posés successivement, dont le mouvement est plus ou moins rapide, dont les écarts sont plus ou moins grands. Ainsi au-dessus encore des petits globes de la lune et des cinq astres, ces cercles successifs se rencontrent, se parcourent (se remplissent), montent et descendent, augmentent et diminuent, se cachent, se mettent en opposition; leurs écarts, par suite de marche plus lente, augmentent et diminuent. Bien que l'on observe le principe et calcule avec prudence, il y a en eux du clair et de l'obscur. De tout cela, Tchou-hi a réussi à faire l'exposé général dans ce chapitre.

29. L'écartement de l'écliptique commence à la rencontre de l'équateur, au milieu du printemps et de l'automne.

Celui de l'orbite de la lune commence à la rencontre de l'écliptique, à la nouvelle lune et à la pleine lune.

Le soleil s'écarte de l'équateur de 24 degrés dans les deux sens; la lune s'écarte de la même façon de l'écliptique, de 6 degrés.

Les diverses rencontres de l'écliptique reculent toujours de $^{1}/_{60}$ de degré. C'est ce qu'on appelle les écarts de l'année.

Les rencontres de l'orbite de la lune ont lieu de même à des distances successives de 1 degré $^{43503}/_{89773}$ et $^{1}/_{2}$ minute en arrière.

Après 11915 [2] années, le cercle de ces écarts est accompli par le soleil.

[1] Voir page 160.
[2] Mandchou : 21915.

Digitized by Google

Après 221 lunes et $^{1753}/_{10,000}$ de divisions (*fen*) 分, le cercle des conjonctions est parcouru.

30. Dès que le soleil sort de l'équateur, en haut ou en bas, il s'écarte, il est en opposition. Après 60 ans, cet écart est de 1 degré.

Les écarts de la lune, ses sorties de l'écliptique, sont très fréquents; aussi, après 18 ans, le cercle en est fini. Les astronomes rapportent les écarts de la lune aux astres Lo-heou[1] 羅 et Ki-tou 計; ceux du soleil, à l'année elle-même.

31. Tzai-Yuen-Ting prétend que tous nos calculs sont faux; que le soleil, la lune, les étoiles, étant du khi condensé, sont sans cesse en mouvement, qu'ils parcourent les degrés, vont vite et lentement d'une manière inégale; que tout ce qu'on en dit est pur bavardage.

Mais il se trompe. Les mouvements du ciel sont très réguliers; la marche des astres à travers les degrés et leurs écarts sont bien réglés.

Il est vrai que les astronomes se sont trompés dans leurs calculs et n'ont pu recueillir tous les renseignements (désirables), fixer les lois, parce que leurs instruments étaient insuffisants.

32. Le même auteur ajoute qu'il faut d'abord calculer la marche du ciel et de là arriver aux planètes. Cela est faux.

Posant d'abord le Grand-Vide; puis, partant de la connaissance des 365 $^1/_4$ degrés, on fixe l'orbite de chacune; puis, pour déterminer la marche du ciel, on doit s'arrêter aux degrés augmentant et diminuant du ciel et fixer les divisions de l'année.

Cela fait, on détermine facilement la position et la marche des planètes.

33. Tcheng-thi dit : Le soleil et la lune se rencontrent. Si le soleil est couvert par la lune, il est éclipsé. Quand ils sont au même lieu, si la lune est offusquée par le soleil, elle est éclipsée. On peut calculer cela en suivant le chemin de chacun d'eux parcourant les degrés et venant, chacun sur sa route, jusqu'au lieu de rencontre.

34. Les astronomes, suivant les principes indiqués, ont corrigé les erreurs et déterminé les choses obscures. On ne peut autrement fixer une base pour

[1] Étoiles du Capricorne.

Digitized by Google

les changements des temps et des astres. Les révolutions du ciel étant telles qu'elles ont été décrites, grâce aux phases et rencontres funestes du yin et du yang, il arrive des calamités et des malheurs qui contrarient les affaires humaines. Aussi les saints sont pleins de crainte, se domptent, se corrigent et savent éviter ces infortunes.

35. Ou Tcheng dit : Depuis jadis les astronomes n'ignorent pas que les sept planètes marchent de gauche à droite; mais ne sachant pas calculer leur marche, dans l'embarras, ils comptaient mal leur recul et le calculaient ainsi d'après les degrés du ciel.

Maintenant on considère le vaste espace comme une immense enceinte vide; on tient compte des différents genres de marche des astres et l'on distingue le plus ou moins de rapidité de leur course. Le ciel tourne très rapidement; en un jour il parcourt un degré de l'immense espace.

L'étoile *Tchen,* un peu moins rapide, s'écarte, en 28 mois, de 30 degrés du ciel.

L'étoile *Sui,* plus lente encore, fait le même écart en 12 mois.

L'étoile *Ing-ho* le fait en 60 jours. Le soleil, moins rapide que l'*Ing-ho,* fait en un jour le tour de la vaste enceinte de l'espace vide, ni plus, ni moins; en un mois, il retarde de 30 degrés sur le ciel.

L'étoile *Tai-pe* marche plus lentement que le soleil; mais elle a aussi son temps de hâte et la somme atteint le (cours du) soleil.

Même rapport quant à l'étoile *Tch'ang.*

La lune, très lente en sa marche, s'écarte en un jour de 12, 13 et 14 degrés du ciel; son recul est considérable.

Voici le tableau comparatif de leur rapidité :

1° Le ciel.	5° Le soleil.
2° Tchen (étoile de la terre), Saturne.	6° Tai-pe (étoile des métaux), Vénus.
3° Sui (étoile du bois), Jupiter.	7° Tch'ang (étoile de l'eau), Mercure.
4° Ing-ho (étoile du feu), Mars.	8° La lune.

Le ciel, les étoiles Tchen, Sui, Ing-ho, marchent rapidement, dépassent le soleil. Les étoiles Tai-pe, Tch'ang et la lune, allant lentement, n'atteignent pas le soleil.

Tel est le tableau général.

Digitized by Google

Chapitre VIII. — *Loi de la terre.*

36. Tchai-tze dit : Le Ki-tou [1] est précisément au milieu du ciel et de la terre. La chaine des montagnes part du Yun-tchong [2]. Le Yun-tchong est sur les flancs d'une montagne droite. L'eau qui est à l'ouest de cette vallée coule vers l'ouest et entre dans le Si-ho de Long-men [3]. L'eau qui est à l'est coule vers l'est et se jette dans la mer. Au midi, le Hoang-ho le borde tout autour. A droite, le mont Hoa [4] s'élève à une grande hauteur.

En venant du Hoa et pénétrant dans l'intérieur on trouve le mont S'ong [5], qui forme comme un rempart au sud. A gauche s'élève le mont Tai-Shan [6] : c'est le Dragon. Au sud du Hoai sont les monts appelés Tchou-Shan [7] qui forment un second rempart.

Au sud du Kiang des Tchou-Shan on arrive aux cinq pics qui forment troisième et quatrième remparts.

Partout où deux montagnes se touchent, il y a une eau entre les deux. Là où deux courants d'eau s'unissent, il y a une montagne.

Le Kiang sort des monts Min-Shan [8]. Ces monts se séparent en deux parties et occupent les deux rives du Kiang; d'un côté, un prolongement s'avance jusqu'au nord du Kiang; de ce côté-ci, une branche vient jusqu'au sud du Ho; un troisième forme le pic Sian-Hia; il se trouve du côté droit de l'eau divisée de Sin-tcheou [9].

[1] *Ki-tou* est le nom de la province où Yao avait fixé sa capitale. Elle occupait le Shan-si et une partie du Pe-tche-li.

[2] Le *Yun* est le pays que Yu dessécha, au nord du Yan-tze-kiang.

[3] Long-men, la porte du dragon est un défilé des montagnes du nord-ouest de la Chine, touchant à la partie du Hoang-Ho qui vient de l'ouest à l'est (Si-ho).

[4] Mont près de Li-ngan-fu, au Shen-si

[5] *S'ong,* mont du Ho-nan.

[6] *Tai,* au Shan-tong.

[7] Tchou-shan 諸.

[8] *Min-shan.* Les monts étendus du Sse-tchouen.

[9] *Sin-tcheou* est Kouang-sin-fou au Kiang-si. Elle portait ce nom sous les Tang et les Song. Là près est le Sien-Hia-ling. Kouang-sin-fou est entre deux rivières.

Digitized by Google

Cette chaîne de montagnes prolonge ses flancs jusqu'au Lin-An [1] et au Kien-K'eng; une autre ligne détachée s'avance jusqu'au Fu-Kien et au Kuang-tong. Les montagnes du Fu-Kien, venant du nord, étant nombreuses, toutes les eaux y coulent au sud-est. Celles du Kiang-nan et du Tche-Kiang, venant du sud, étant également en grand nombre, les eaux y coulent vers le nord. C'est pourquoi le Kiang-nan et le Tche-Kiang sont froids en hiver et chauds en été.

Tzai-Yuen dit : La racine des montagnes est la même partout, mais les sommets diffèrent. La source des fleuves est toujours différente mais leurs bouches sont les mêmes.

37. Shao-tze dit : Les flots de la mer arrêtent la vie de la terre 喘; se réglant sur la lune, ils la suivent comme modèle.

Yu-tching dit : Le flux et reflux des vagues de la mer n'est pas un grossissement ou une diminution des eaux de l'océan, mais leur cause est que les eaux suivent la marche de la lune. Lorsque la lune est à la région du Lièvre et du Coq [2], les eaux débordent. Quand la lune en vient à la région de la Souris et du Cheval, les flots sont plats. Là, se retirant, ici, se gonflant, ils vont et viennent sans interruption; le tout sous l'action de la lune, selon qu'elle descend ou monte. Comme elle reste constamment trois quarts d'heure (ke) en arrière du soleil, le retard de la marche des flots suit cette mesure.

Il en est ainsi en général. Depuis la nouvelle jusqu'à la pleine lune, les flots avancés retardent généralement d'une nuit; depuis la pleine lune jusqu'au quartier fini, le retard est d'un jour. Avant et après les jours de la nouvelle et de la pleine lune, la marche de cet astre étant un peu hâtée, trois jours avant la fin du quartier, les flots se soulèvent; trois jours après la nouvelle lune, les flots ont pris leur gros volume; même chose à la pleine lune.

Au printemps et en été, le flux est plus fort pendant le jour; à l'automne

[1] Au Tche-kiang. Actuellement : Hang-tcheou.

[2] Le Lièvre et le Coq, ou *mao* et *yen*, représentent 5 à 7 heures du matin et 5 à 7 heures du soir; la Souris et le Cheval, ou *tze* et *ngu*, représentent 11 à 1 heure du matin et 11 à 1 heure de l'après-midi; les quatre quarts du jour.

Digitized by Google

et en hiver, c'est pendant la nuit; parce que le milieu du yang est au printemps et celui du yin en automne [1]. Le printemps et l'automne sont pour l'année ce que l'obscurité et la plénitude de lumière sont pour la lune; c'est donc alors que le flux est le plus soulevé.

Les eaux sont surtout grosses au milieu de ces deux saisons, et le flux est surtout fort après la nouvelle et la pleine lune.

[1] Le yang recommence son action après le solstice d'hiver et va toujours croissant jusqu'au solstice d'été. Après cela il décroît, et le yin exerce son influence, qui croît de même jusqu'au solstice d'hiver. Le milieu de ces deux périodes est donc le double équinoxe.

Digitized by Google

LIVRE V.

Des principes gouvernementaux, rites, etc.

Outre les traités philosophiques que l'on vient de voir, le Sing-li tsing-y en contient un grand nombre d'autres qui, aux yeux des Chinois, appartiennent aux études de philosophie, bien que pour nous ils y soient entièrement étrangers. Ces différents livres ont pour objets :

1° L'interprétation du Yih-king comme matière de la consultation du sort;

2° Le Kia-li ou rites domestiques, comprenant tout le cérémonial relatif à l'imposition du bonnet civil, au mariage, aux devoirs journaliers des enfants, des parents et des serviteurs, au temple ancestral, aux funérailles et au deuil, aux sacrifices;

3° Le *Liuh-liu-kin-shu,* ou traité des principes de la musique;

4° Le Hio-shu, ou traité des études, méthodes, objets, procédés, etc.

5° Les règles du gouvernement. Ce traité comprend deux parties : la première traite des principes gouvernementaux, règlements généraux, lois du prince, devoirs des fonctionnaires, emploi des hommes, etc.; la seconde traite des objets de l'action du pouvoir : champs et tributs, écoles, temples des ancêtres, rites et musique, gouvernement de l'armée et tactique, lois pénales et châtiments, avertissements et remontrances, prodiges et pronostics.

Les Chinois envisagent tout ce vaste ensemble comme régi par les principes fondamentaux de la raison, et comme tels ils le considèrent comme ressortissant de la philosophie. Nous n'avons pas à tenir compte du point de vue auquel ils se placent. Nous croyons toutefois devoir donner une idée de ce que les lettrés de l'Empire du Milieu envisagent de cette manière et de la méthode qu'ils suivent en traitant ces sujets. Pour atteindre notre but, il nous suffira de présenter quelques extraits épars de ces traités que nous avons écartés de notre champ d'études. Ils seront tous pris au dernier livre : *Des règles du gouvernement.*

Digitized by Google

Chapitre II. — *Des écoles.*

Tcheng-tze dit : Pour bien gouverner le monde, il faut considérer comme fondement de toutes les institutions, de maintenir les lois et les coutumes et de produire des sages et des saints.

Cent ans après l'élévation au trône de la dynastie Song, l'enseignement était encore très incomplet, les esprits n'étaient guère tournés au bien, très peu de lettrés savaient pratiquer la modestie et la condescendance. L'amitié, la pudeur ne régnaient nullement dans les localités. Les lois ne visaient qu'à l'indulgence, la fourberie était incessante. Les fonctionnaires étaient nombreux, mais leur vertu était fort au-dessous de leurs fonctions.

C'est qu'on n'avait point encore établi convenablement les écoles et les collèges et que l'on n'honorait ni les maîtres ni les lettrés, qu'on ne les encourageait ni les entretenait convenablement.

On s'éloignait des saints extrêmement, et l'on n'avait point encore établi les règles concernant les instituteurs et maîtres.

Les doctrines des lettrés étaient presque abandonnées; toutefois les lois et les vertus étaient identiques partout, comme les mœurs et les coutumes. Aujourd'hui chacun s'attache à ses idées, chaque école a son langage, on a tracé mille chemins à l'explication des kings et l'on ne saurait plus y ramener l'unité. Si les vrais principes ne sont plus clairement connus ni généralement pratiqués, la cause en est dans cet état des esprits. Conséquemment il faut d'abord s'adresser à des lettrés sages, que l'on mettra en honneur et qui montreront l'exemple; combler d'éloges les magistrats des provinces, les fonctionnaires des arrondissements et cantons qui secondent ce plan, et établir comme maîtres de l'enseignement les lettrés qui savent mettre en lumière les principes des anciens rois et qui ont acquis une grande science, une vraie vertu.

Il faut, en outre, faire connaître et rendre illustres les noms de ceux qui se sont constamment appliqués de cœur à l'étude et dont la conduite est excellente. L'État doit traiter avec honneur les hommes les plus vertueux et sages et les appeler à la capitale, et envoyer ceux d'une capacité et d'une

Digitized by Google

vertu réelles mais inférieures dans les Tcheous (arrondissements) et les Hiens (cantons), en les entourant de marques d'estime.

En outre, on doit les réunir à la capitale, les établir dans une demeure vaste et commode, leur donner une abondante nourriture et tout ce qui leur manque chez eux, puis mettre à la tête de l'institution des magistrats choisis pour leur sagesse supérieure et leur faire donner l'enseignement, régulièrement matin et soir, chacun selon sa partie.

Cet enseignement doit avoir pour fondement les devoirs essentiels des hommes et expliquer la nature essentielle des êtres. Leur méthode doit commencer au début de la *Siao-Hio,* depuis arroser, balayer, obéir, répondre. S'occupant de la piété filiale et fraternelle, de la sincérité et de la droiture, du maitien [1], des rites et de la musique, ils doivent diriger, encourager, exciter les étudiants, les faire avancer, les avertir, leur faire atteindre la perfection; en tout cela il y a des degrés; l'essentiel est de s'attacher au bien, de se gouverner soi-même, de savoir améliorer le monde et l'entretenir et de les amener ainsi de l'état d'homme vulgaire aux principes des saints.

Ainsi réglant leurs études et leur conduite et les formant à la vertu, puis développant leurs facultés intellectuelles, leur donnant la clarté et la pénétration, leur faisant faire des progrès dans le bien et développer chaque jour leurs connaissances, on pourra, après quelque temps, présenter les plus sages et habiles, les préparer aux fonctions supérieures et, choisissant alors ceux qui ont le mieux élucidé les principes, les plus recommandables par leur vertu et leur science, on leur donnera les chaires du *Grand Collège;* les autres, qui les suivront quant au mérite, seront distribués dans les collèges de l'empire, où ils enseigneront. De cette manière, partout, depuis le hameau de dix maisons jusqu'aux villages et bourgs, on pourrait établir des maîtres et faire suivre les règles des collèges supérieurs.

Ceux qui l'emporteront par la science et la vertu, qui auront développé en eux la bonté et l'esprit de justice, dont la conduite sera droite et sincère, seront élevés en fonction.

Les anciens lettrés allaient aux écoles de 15 à 40 ans, et ne recevaient

[1] Reculer et tourner. Voir ma traduction de la Siao-Hio, pp. 22 et ss.

Digitized by Google

de fonction qu'après cet âge. Ils étudiaient ainsi pendant vingt-cinq ans. Comme il n'y avait aucun profit dont ils eussent à se préoccuper, on pouvait ainsi connaître quelles étaient leurs dispositions internes.

Après eux, dès l'enfance les hommes ne pensaient plus qu'au gain; comment auraient-ils pu se tourner au bien?

Ainsi jadis on devenait magistrat à 40 ans. Après cet âge, l'esprit, devenu ferme, ne s'occupe plus avec ardeur du manger et des habillements et ne s'attire plus la honte. C'est l'entraînement du gain, des gros traitements qui pervertit. En ce monde il y a encore beaucoup de vertu.

Jadis les maîtres des écoles Hio et Hiao [1], donnaient l'enseignement et l'éducation. Tous les objets de l'instruction, la conduite vertueuse, les règles, le choix, la présentation et les fonctions de magistrat, la conservation des places et des émoluments, la tactique militaire, les manœuvres et la chasse, tout cela s'enseignait d'une même manière et comme régi par un seul principe.

Le vice du système actuel d'examen en est arrivé à son point extrême. L'usage de présenter, de choisir quelqu'un de l'endroit (où il doit exercer ses fonctions) est chose excellente. Maintenant on ne sait plus le faire. Mais en réglant tout ce que contiennent les lois des examens, on a changé la méthode d'explication du sens des kings actuels. Il est prescrit à tous les lettrés du monde de pénétrer, de posséder complètement le sujet des cinq kings entiers; on leur en fait exposer le thème et reproduire par écrit les commentaires, toutes les discussions des auteurs, en faisant abstraction de leurs propres pensées. Les questions qu'on leur pose, les matières qu'on leur fait discuter appartiennent aux choses du temps, rites, musique, art militaire, lois pénales, etc. On a supprimé l'abus des concours et l'on choisit ordinairement ceux qui savent expliquer les kings et diriger convenablement leur propre conduite.

Des jeunes gens qui ont passé leurs examens de professeur se font aussitôt appeler *sian sheng* (= senior, docteur). A mon avis, on ne doit admettre qu'une seule coutume. C'est seulement après 40 ans que l'on peut prendre ce titre.

[1] Écoles des capitales et des cantons.

Digitized by Google

Si on leur enlève les fonctions et les destitue de leur charge de professeur pour y placer des maîtres âgés de l'endroit, les lettrés y applaudiront, car l'enseignement de ces derniers sera sans négligence ni légèreté.

Hiu-heng dit : Les anciens rois, en fondant les écoles Hio et Hiao, entretenaient, développaient les vertus des hommes et rendaient un immense service au monde. Mais ces institutions dégénérèrent ; le système d'examen devenant de plus en plus sévère et minutieux, les lettrés qui y furent assujettis devinrent de plus en plus habiles et astucieux et parvinrent à deviner ce qu'ils devaient écrire, lettres et sujets. Ainsi ils préparaient leurs réponses à l'avance.

Si les chefs ne cherchent pas à donner aux lettrés des hommes vertueux pour les garder, les inférieurs agiront d'une manière analogue. A quoi servira-t-il alors que l'on entretienne en soi les dispositions justes et bienveillantes des hommes supérieurs? Les chefs immédiats des lettrés leur apprendront par leur exemple à se pervertir.

Chapitre VI. — *Des châtiments.*

Tcheng-tze dit : Les hommes supérieurs, dans la recherche des délits, ne doivent se préoccuper que de l'amour sincère de la vérité. Dans l'application des peines, ils doivent surtout se montrer bienveillants, charitables.

Tout en accomplissant les devoirs d'une parfaite sincérité et justice, dans la procédure criminelle, il est de la plus haute gravité de retarder l'exécution de la peine de mort.

Ho-Hong dit : Si les peines non capitales sont trop légères, les délits se commettront aisément et l'on apprendra au peuple à n'en point rougir. Si la peine de mort est fréquente, on ne laissera pas de place au repentir et l'on fermera au peuple le chemin de l'amendement.

Si les peines capitales et non capitales, graves et légères, ne sont pas complètement séparées comme différant entièrement de nature, le peuple saura (rougir des petits délits mêmes et) éviter les châtiments ; ainsi les bonnes doctrines et les bonnes mœurs floriront.

Tchou-hi dit : Si l'on médite les paroles adressées par Shun à Kao-Yao, on y verra que les fonctions des juges consistent à faire les enquêtes et à

Digitized by Google

bannir, mais ils n'agissent sûrement que quand ils sont parfaitement éclairés. Que l'on punisse ou qu'on pardonne, on doit seulement considérer ce qui convient et non uniquement viser à l'indulgence et à ne pas punir.

Au temps de Yao et de Shun, on n'usait que d'indulgence et l'on ne châtiait point, dira-t-on peut-être; on ne mettait pas à mort les meurtriers, on n'infligeait pas de peine à celui qui avait causé quelque dommage. S'il en était ainsi, les cœurs des saints, tout en ne supportant pas en soi le mal triomphant et les cruautés révoltantes, auraient supporté que les honnêtes gens souffrissent de la méchanceté et que le crime fût le plus fort.

On met à mort, on châtie le malfaiteur audacieux qui reste tel perpétuellement; la cause, le but du crime n'admet pas de circonstances atténuantes; ce ne serait qu'une cause d'erreur.

Bien qu'on ne puisse pratiquer les règles de gouvernement des anciens rois comme sûres, on doit employer les châtiments comme auxiliaires des enseignements et arrêter les actes coupables.

Entailler la chair et la peau est, dit-on, le moyen d'effrayer les méchants. C'est la même chose que le principe de gouverner en perfectionnant les esprits et les cœurs et ne supportant pas les misères humaines (mais cherchant à y remédier).

Mais les lois pénales ne peuvent arrêter la méchanceté fallacieuse des gens trompeurs et corrompus qui se répand et déborde. Si l'on veut pour cela en redoubler la sévérité, on arrivera à punir de mort ceux qui n'ont pas mérité le dernier supplice.

Comme le disait Tchen-Kiun : Si l'on applique même la peine de la castration, ou que l'on coupe un doigt de pied, bien que le corps et le pied soient ainsi mutilés, cependant on conserve encore et le corps et la vie. Si, par là, on coupe la racine des troubles et qu'ainsi les actes criminels cessent, peut-on dire qu'en se conformant aux idées des anciens on viole les principes actuels? Non certainement.

Les supplices infligés par les anciens rois, la peine de mort appliquée selon les lois, entamant la chair et la peau des gens, pouvaient détruire le principe générateur et le corps d'un homme; mais, par le supplice infligé à un seul, tous les autres terrifiés par l'exemple n'osaient plus se proposer de

Digitized by Google

commettre le mal. C'était ainsi venir au secours de la nature et suivre ses préceptes.

Les lettrés qui ont disserté des lois pénales des dynasties postérieures étaient incapables de le bien faire.

Les lettrés peu intelligents tiennent un langage qui correspond à une doctrine sectaire; les ruses des magistrats peu éclairés, pour éloigner d'eux-mêmes tout inconvénient, ont fait considérer comme chose principale de rendre les supplices doux et légers. Mais plus les châtiments diminuent, plus il devient impossible d'instruire et d'élever le peuple; on fait ainsi grandir l'esprit de rébellion, de trouble, et les procès, les contestations et les jugements criminels deviennent de plus en plus nombreux.

Le vice de cela est qu'on ne connaît et comprend pas bien les lois des anciens souverains.

Les gens du jour qui parlent sans cesse d'adoucir les supplices ne savent que se montrer compatissants pour ceux qui ont nui aux autres, c'est être cruel pour les innocents; ils ne songent pas qu'on doit avoir bien plus d'égards pour celui qui a subi le dommage. Ils pensent à la mort du bandit qui a tué un homme, et nullement à celui qui a été tué bien qu'innocent. Pleins de sollicitude pour le voleur, ils n'ont aucun souci des honnêtes gens tourmentés par eux.

Dans les instructions et les procès criminels, si la cause est claire et évidente, il est facile de l'examiner et de la connaître; quand les circonstances sont trompeuses, il est difficile de pénétrer ces obscurités. Si les preuves, les témoignages font défaut d'un côté, ou que l'on obtienne des réponses contradictoires, s'il s'agit d'une peine qui compromette la vie ou le corps de l'accusé, on doit apporter le plus grand soin à l'instruction et craindre fortement de se tromper.

Lu Kiü-yuen dit : Il y a cinq espèces de châtiments [1]; les anciens ne les employaient point à leur fantaisie. Lorsque le ciel menace un coupable, il n'agit pas autrement.

[1] Flagellation, bastonnade, bannissement, déportation, mort. Autrefois c'étaient les supplices suivants : marquer le front au fer rouge, couper le nez, couper les mains et les pieds, castration, mort.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII. — *Des prodiges et présages.*

Tcheng-tze dit : Quand l'empire prospère, c'est un présage heureux [1]. Lorsqu'un homme a un sujet de joie, le principe vital manifeste son action dans les yeux, sur le visage [2].

Lorsque les saints ont un heureux pressentiment, ils n'en font pas grand état [3]; si, par suite d'un prodige apparu, on perfectionne sa vertu, on ne diminuera pas; si, au contraire, on s'en enorgueillit, les calamités arriveront sûrement.

Lorsqu'au Tchun-tsiu les prodiges sont relatés, ce n'est point accessoirement et comme étant sans importance; il n'y est point dit que « la rosée, le givre tomba (comme de soi-même), mais fut envoyé d'en haut »; ni « le temple de I-pe trembla », mais : « (le ciel) le fit trembler ». Cette idée (de l'intervention céleste) est clairement comprise parmi les hommes.

Les principes rationnels du ciel et de l'homme peuvent ainsi s'accorder d'eux-mêmes. Lorsque les affaires humaines réussissent, le ciel n'envoie pas de présages. Si elles tournent mal, le ciel fait paraître des prodiges. Les choses humaines tendent ordinairement vers l'ordre du ciel [4]. Mais les changements du ciel ne se conforment pas toujours aux besoins des affaires humaines. Ainsi le froid, la chaleur, la pluie, constituent l'ordre du ciel [5].

Lorsque le principe vital de l'homme est fort, les maladies ne naissent point; s'il est faible, alors elles se produisent. Ce n'est point le ciel qui veut

[1] C'est un signe que la vertu règne et que le ciel la récompense par cette prospérité.

[2] Ainsi se manifeste la joie que le ciel éprouve en voyant les vertus des hommes.

[3] Ils ne s'en prévalent pas; mais s'il y a quelque présage funeste ils craignent que la colère céleste ait été provoquée par quelque faute et tâchent de l'apaiser en perfectionnant leur vertu. Ainsi ils se prémunissent contre le danger sans encourir aucun risque.

[4] Pour s'y conformer, la nature les y porte.

[5] Les hommes et les êtres en général tendent à agir selon que l'exigent ces changements célestes; mais ceux-ci ne se produisent pas toujours selon les besoins des êtres. Quand cela arrive, c'est une manifestation de la volonté du ciel.

Digitized by Google

les calamités, elles arrivent quand le principe des choses humaines n'est point en état de l'emporter (sur le reste) [1].

La doctrine de l'entière droiture peut d'abord être bien connue; si l'on s'en rend un compte exact, alors, par son moyen, par la sincérité, on peut transformer, écarter, changer les présages. Changer le malheur en bonheur, les mauvais signes en heureux présages, la décadence en prospérité, n'est pas difficile. Il suffit de rétablir en soi la droiture, la vertu.

Aussi les saints du passé, lorsqu'ils rencontraient un signe funeste, en étaient effrayés. Graves et respectueux, attentifs et pleins de crainte, ils tâchaient de réparer toute faute et n'osaient pas espérer une issue heureuse une fois sur dix mille. Mais contemplant le ciel suprême, pleins d'affection, ils tâchaient de l'apaiser. Peut-on dire qu'écarter les maux, les détourner, changer les choses et les événements est chose facile? (Oui, de cette façon.)

Lu Kiü-yuen dit : Beaucoup ont traité des signes et présages. Liu-hiang, Tong tchong-shu, Li-siuen, King-fang, I-fong et d'autres, qui ont approfondi la loi du yin et du yang et ont paru à cette époque, ne se sont pas occupés seulement des faits. Aussi les sages n'acceptaient point leurs théories parce qu'ils étudiaient et annonçaient les relations des faits et des signes [2]. Kong-tze a relaté tous les présages dans le Tchun-tsiu afin qu'ils servissent d'avertissement aux souverains futurs; les sages y ont ajouté foi parce qu'il n'y cherchait pas à montrer la relation entre les signes et les événements.

Bien qu'en indiquant les causes des faits et la nature des affaires et après mûr examen, on ne puisse pas ne pas montrer leurs rapports, cependant s'il arrive une seule fois que les présages ne correspondent pas aux faits, les princes les négligeront et n'auront plus aucune crainte.

Kong-tze, en se contentant d'indiquer les prodiges et présages sans indiquer leur relation avec les événements, a été cause que les princes les

[1] Par suite des fautes des hommes, leur principe vital s'affaiblit.

[2] Ils ne se contentaient pas de relater et d'étudier les phénomènes, mais ils prétendaient découvrir et faire connaître leurs causes en tant qu'ils émanaient, selon leurs vues, de la volonté du ciel satisfait ou irrité. Kong-tze s'est bien gardé d'en faire autant. Il comprenait qu'une seule erreur dans l'explication des pronostics compromettait toutes ses interprétations et sa science augurale. En évitant de se prononcer à ce sujet, le Sage laissait les princes sous l'empire d'une crainte continuelle qu'aucune erreur de sa part ne venait dissiper.

Digitized by Google

observent tous avec attention et se conforment aux avertissements du ciel.

Tchen Te-siu dit : Se reposer sur de nombreux présages favorables, c'est chose dangereuse. Savoir profiter des avertissements des présages funestes, conduit à donner la paix et la sécurité. Le prince doit surtout observer comment il doit en tirer parti.

Interrogé sur les changements du ciel, Hiu heng répondit : Les explications qu'on en a données sont justes. Il en est du ciel comme d'un père irrité contre un fils révolté qui l'offense, ou bien affligé, excité par toute autre cause; ce fils doit être saisi de respect et de crainte, il doit se corriger soigneusement.

Ces paroles sont pleines de sens et de raison.

Digitized by Google

LIVRE VI.

Cosmogonie actuelle des Chinois.

Les parties vraiment philosophiques du Sing-li-tsing-i ne présentent point un système complet et méthodique de cosmogonie. Les lettrés chinois ont pourvu à cette lacune en en créant un dont les principes sont puisés en partie aux enseignements de Tcheng-tze et de ses disciples, en partie à ceux des Tao-sse, dont ils ont toutefois rejeté les fantaisies extravagantes. On y remarque des points d'analogie frappante avec les vieux systèmes de l'Asie occidentale, mais nous laissons à nos lecteurs le soin de les apprécier. Voici ce système tel qu'il est formulé dans les livres destinés à l'enseignement des colléges inférieurs et particulièrement dans le *Yu-hio-tsien.*

Au commencement était l'être confus et indistinct. (Pour le désigner, les manuels emploient le même terme qui, dans le langage de Lao-tze, désigne le Tao éternel, mais ils y rattachent une conception plus matérialiste.)

Cette masse confuse et flottante s'ouvrit un jour (sans qu'on sache de quelle manière cela se fit). Cette masse fut la matière initiale; dans son sein, le yang et le yin n'avaient point encore une forme distincte, mais leur substance était en elle. Quand elle s'ouvrit, ces deux principes se constituèrent et se séparèrent, et le *k'ien* (principe du ciel) comme le *kven* (principe de la terre) se formèrent et se posèrent, définitivement constitués. Le *k'ien* (yang) forma le ciel, et le *kven* (yin) forma la terre; alors les voies, les principes de ces deux puissances se produisirent et se montrèrent au dehors. De cette matière première ainsi divisée, les éléments légers, purs, flottants, s'élevèrent et constituèrent le ciel; la partie lourde, impure, massive, tomba et composa la terre.

Comme il est dit au dictionnaire *Shuo-wen,* le ciel et la terre sont comme les excroissances du yin et du yang; la partie spirituelle de l'être est le yin du ciel; les bons génies, les mânes, sont le yang de la terre.

Digitized by Google

Le ciel, comme il a été dit, est composé de la matière légère et pure; celle-ci flotta dix-huit mille ans, puis forma le ciel. L'essence éthéréale du ciel s'amassa, se coagula et forma le soleil, la lune, les planètes et les étoiles, et lorsqu'ils furent complètement constitués par elle, que leurs qualités et leurs actes furent établis, ces astres se mirent en marche.

La terre fut formée de ce qui restait de la partie lourde, massive, de la substance originaire. Cela se fit en dix-huit mille ans. Alors l'élément subtil et actif de la terre se contracta et produisit les montagnes, les rivières et les fleuves; ainsi l'élément primitif se condensa et se forma en êtres divers, la matière fut dispersée et poussée là où elle était appelée.

Il y a au ciel sept agents régulateurs du temps, des événements et de la vie des êtres. Ce sont : le soleil, la lune et les cinq planètes. Il y a dans le monde trois puissances productrices et directrices : le ciel, la terre et l'homme. L'homme sortit de la substance originaire lorsqu'elle s'ouvrit et forma les deux autres puissances. Le premier homme fut Pan-kou, d'une nature merveilleuse et qui contribua à la formation du monde. Ses successeurs descendirent successivement à la condition ordinaire de l'homme. Cependant cette partie merveilleuse de l'histoire de l'humanité n'est pas admise par tous.

Le ciel recouvre et garde tous les êtres, la terre les porte et les soutient; l'homme parfait, le saint, concourt à arranger, achever leur œuvre et seconde ainsi le ciel et la terre en ce qu'ils ne peuvent mener à fin complète. Par leur action, tous les êtres se produisent entre le ciel et la terre; seul, l'homme perfectionne; l'homme est le merveilleux, l'intellectuel parmi les êtres.

Le ciel est l'essence suprême du yang; il engendre, développe, fait prospérer; il est l'image de l'homme supérieur. La lune est la substance principale du yin, l'image de l'épouse comme la compagne du soleil. — L'élément primitif fournit constamment le yin et le yang qui répandent et perfectionnent la vie et forment les êtres vivants. Ainsi la vie ne finit pas. Ainsi l'homme, le ciel et la terre, constituent les trois puissances et produisent tous les autres êtres.

Digitized by Google

CONCLUSION.

Nous sommes arrivé au terme de notre tâche. Certes nous n'avons point épuisé la liste des écrivains chinois qui se sont occupés de questions rentrant dans le domaine de la philosophie, car ils se comptent par centaines. Mais puisque les lettrés chinois eux-mêmes, après avoir, dans le Sing-li-ta-tchouen, réuni des extraits de cent vingt de ces auteurs, ont jugé bon de les faire rentrer dans l'oubli en les retranchant de leur édition classique définitive, nous ne pouvons que suivre leur jugement et les maintenir dans la même exclusion. D'ailleurs la presque totalité de leurs œuvres n'ont jamais eu les honneurs d'une édition en règle; elles gisent dans la poussière des bibliothèques et l'on ne saurait, en Europe, se les procurer d'aucune façon. Les éditeurs du savant empereur Khien long nous l'ont appris, du reste : les lecteurs n'y trouveraient, en dehors de ce que l'on a vu dans notre livre, que des dissertations puériles et des répétitions superflues. En outre, la morale et la politique en font généralement tous les frais. Dans le long catalogue des œuvres philosophiques publiées sous la dynastie des Tangs, il serait bien difficile de citer quelques titres d'ouvrages qui trahissent des préoccupations étrangères à ces deux sujets, si ce n'est dans les commentaires explicatifs des écrits de Lao-tze, Tchuang-tze, etc. [1]. Il est vrai que les titres sont le plus souvent trompeurs et dissimulent le véritable caractère des livres qui les portent.

Dans une autre liste, dressée par Wylie, en ses célèbres *Notes on chinese*

[1] Nous laissons ici complètement de côté les œuvres des disciples vrais ou prétendus de Lao-tze. Considérés comme sectaires par le corps entier des lettrés officiels, n'ayant qu'un petit nombre de partisans et devenus pour la plupart de simples charlatans ou des conteurs de fables, les philosophes taoïstes modernes sont entièrement en dehors de notre cadre. L'école de Lao-tze doit être et sera l'objet d'une étude spéciale où nous tâcherons de réunir tout ce qu'elle a produit de sérieux et de donner une idée des extravagances auxquelles elle se livra quand elle eut abandonné complètement la voie tracée par son fondateur. C'est là une des pages les plus intéressantes de l'histoire de l'esprit humain.

Digitized by Google

litterature, pages 70 et 71, il en est jusqu'à deux que l'on pourrait citer : le *Tu shū ki* de *Tchin te-seu,* au XIII^e^ siècle, où il est parlé de la nature, de l'esprit, de l'intelligence, et le *Tái ki t'ū shwō lún* de *Wang tze-hvai,* du XVII^e^ siècle, ouvrage consacré à la critique, à une amère censure des systèmes de l'école du *Sing-li.*

En présence de ces faits, nous ne pouvions mieux faire que d'imiter l'exemple des éditeurs impériaux et de laisser tout ce bavardage dans l'oubli auquel ils l'ont voué lors de la publication du *Sing-li-tsing-i.* Nous nous arrêterons donc à ce point.

Peut-être quelqu'un de nos lecteurs trouvera-t-il encore dans les pages précédentes bien des longueurs, bien des choses insignifiantes et fastidieuses, et certes nous ne contredirons point à ce jugement. Nous n'avons pas cru toutefois devoir les omettre. Ce à quoi nous tenions avant tout, c'était de mettre entre les mains des hommes d'étude, des philosophes et des ethnologues tous les documents nécessaires pour juger à fond et dans toute son étendue le mouvement de la pensée philosophique depuis neuf siècles, dans ce vaste empire qui peut nous paraître souvent bien étrange en ses usages, mais qui n'en est pas moins digne d'attention. Venant pour la première fois exposer ce travail de la pensée humaine, je n'ai point voulu que mes lecteurs dussent s'en rapporter à mon jugement ou à des résumés qui auraient pu n'être point tout à fait fidèles. Ayant les pièces entières sous les yeux, ils pourront apprécier plus sûrement eux-mêmes la valeur de ces œuvres des penseurs chinois. D'autres pourront les vulgariser par des extraits et des appréciations basées sur un terrain sûr.

D'ailleurs, aujourd'hui où tout ce qui émane de l'homme est étudié avec un soin presque religieux, où la moindre pierre qui porte les traces de la pensée humaine est recueillie et scrutée avec la plus grande attention, il ne peut être hors de propos de faire connaître dans leur intégrité les productions principales de la recherche philosophique au sein d'une nation si nombreuse et dont la civilisation remonte à une si haute antiquité. Que l'on n'oublie pas non plus que nous donnons ici en une trentaine de feuillets la substance de plus de mille ouvrages.

D'autres, au contraire; nous reprocheront peut-être d'avoir laissé de côté

Digitized by Google

certains passages dans les deux derniers traités dont nous nous sommes occupé en cet ouvrage. Ils peuvent bien être assurés qu'il n'a rien été omis d'essentiel ni même de tant soit peu utile à connaître. Comme les auteurs du Sing-li-tsing-i, nous n'avons retranché que des répétitions déplaisantes pour notre goût, des développements qui n'ajoutaient absolument rien au fond, ou des hors-d'œuvre qui déparaient des traités d'ailleurs assez réguliers et méthodiques. S'ils les connaissaient tels qu'ils sont, ils seraient les premiers à nous demander grâce du reste.

Puissions-nous en cette distinction de l'utile et du superflu avoir plus ou moins bien atteint le but : *Medium tenuêre beati!*

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

Pages.

Objet de ce travail 3
Coup d'œil historique : Shuh-king, Kong-tze 3
— Lao-tze et ses disciples; Tchuang-tze. 4
— Li-tze. 6
— Leurs successeurs 7
— Les deux principes 8
— La nouvelle école 9
— Le *Sing-li ta-tchuen* et le *Sing-li tsing-i* 10
Traités philosophiques qui forment la matière de ce livre et leurs auteurs : Tcheou-tze, Tchang-tze, Shao-tze, Tcheng-tze, Tchou-hi 11
Le *Li-khi* 13
Le *Sing-ming* 14

SING-LI OU SYSTÈME DE LA NATURE.

Livre I. — Système et écrits de Tcheou-tze.

Partie I. — Le Tai-kih-t'u ou Tableau du principe suprême.

A. Exposé du système 15
Le principe suprême; les deux principes médiats, actif et réceptif; les cinq agents dynamiques et atmosphériques, leurs rapports; production des êtres et leurs degrés différents; l'homme. — Nature du *Tai-kih*, le destin. — Tableau du premier principe et son explication 19
B. Le *Tai-kih-t'u*; traduction. 21

Partie II. — Le Tong shuh ou Traité approfondi.

A. Résumé des principes 23
B. Le Tong shuh; traduction. 25
Chapitres I et II. — *Le réel* 25
— III et IV. — *Des trois principes d'action : réalité, tendance, vertu* . . 27

Digitized by Google

Pages.

CHAPITRE V. — *Des actes* 28
— VI. — *De la règle des actes* (tao) 28
— VII. — *Le maître* 28
— VIII. — *Du bonheur*. 29
— IX. — *De la pensée* 29
— X. — *Disposition et instruction*. 30
— XI. — *Des formations selon la nature de l'être* 30
— XII. — *Du gouvernement* 30
— XIII. — *Des rites et de la musique* 30
— XIV. — *Du souci de la vérité* 31
— XV. — *Affection et respect*. 31
— XVI. — *Du mouvement*. 31
CHAPITRES XVII A XIX. — *De la musique* 32
CHAPITRE XX. — *Enseignement de la sainteté*. 32

Livre II. — Système et écrits de Tchang-tze.

INTRODUCTION. — Le Tcheng-meng et le Ssi-ming. — Innovations de Tchang-tze; critiques qu'elles provoquent et leur triomphe 33
L'être primitif, le grand vide. — Les deux principes, l'esprit et le corps; le *li* ou principe rationnel et le *khi* ou principe matériel. — Polémique de Tchang-tze . . 35

LE TCHENG-MENG.

Partie I. — Ontologie.

CHAPITRE I. — *De la grande Harmonie,* Ta ho. 36
L'être primitif, le *khi,* le grand vide et le principe rationnel, formation des êtres 36
Des esprits, de la sainteté. — Les évolutions du *khi,* les deux principes. 42
— II. — *Des combinaisons des éléments. — Unité et dualité.* 46
La loi de croissance et de diminution 48
Le yang et le yin formant les phénomènes atmosphériques . . 49
Les éléments 50
— III. — *De la loi, de l'ordre du ciel* 52
— IV. — *De la nature spirituelle et des créations* 52
— V. — *Du principe moteur* 55
— VI. — *De la parfaite intelligence* 55
La nature; la perfection. 56

Partie II. — Morale.

CHAPITRE VII. — *De l'élévation du cœur* 59
— VIII. — *Du milieu juste et immuable* 60

Digitized by Google

Pages.

CHAPITRE IX. — *De la vertu* 63
— X. — *Exemples des diverses vertus* 65
— XI. — *La vertu parfaite* 65
— XII. — *De la vraie vertu* 66
— XIII. — *Ta Yih-king*. 67
— XIV. — *Perfection de la nature* 69
— XV. — *Bouddhisme* 71
— XVI. — *De la gravité et de la plaisanterie* 75

Livre III. — Système et écrits de Shao-tze.

INTRODUCTION. — Le *Hoang-kih : King-sse* et *Kvân-wuh*. 77
Tableau du Hoang-kih et son explication 79

LE HOANG-KIH OU PRINCIPE SUPRÊME.

Livre I. — Ordre et relation des choses de ce monde (King-sse).

Tableaux du Yin et des quatre formes 81

Livre II. — Kvân-wuh.

CHAPITRE I. — 1 à 4. Le ciel et la terre, leur production. — Le *Yin* et le *Yang*, leur formation 82
Système de Shao pe-wen : Le Grand Principe. — Formation du monde. — Les Yins et les Yangs, le ciel et la terre, les astres. — Le premier Principe; le destin, les éléments 83
5 à 7. Les opérations de la nature. 86
8. L'intelligence et le cœur 87
12 à 14. La loi rationnelle 88
15 et 16. Les quatre stades du perfectionnement naturel et moral. . . 89
17. Mérite de Kong-tze 90
18. Du bon gouvernement 91
19. Des fautes de la langue et du cœur 91
20 et 21. Les transformations de la nature 92

CHAPITRE II. — Introduction.

CHAPITRE II. — 1 à 3. Les nombres du ciel et de la terre 93
4 et 5. Les nombres du jour et de la nuit, des objets ronds et carrés. 94
6 à 8. Calcul des nombres 95
9 à 12. Premier Principe, formation de l'univers selon les trigrammes. 96
13 à 15. Le Yin et le Yang, leur action réciproque 98
16 à 20. L'harmonie des êtres 98

Digitized by Google

Pages.

21 et 22. Mouvement du soleil et de la lune, éclipses, etc. 100
23. De la pensée et de la parole 101
24. Les quatre principes d'action et leurs rapports 101
25 à 27. Les trigrammes 102
28. La sève vitale 102
29. Les nuages. 102
30. Les éléments 103
31 et 32. Les mouvements. 103
33 et 34. Les couleurs 103
35. La substance, le principe actif; remarques diverses. . . . 104
42 à 48. Le principe suprasensible en l'homme. 105
49 à 58. Du calme du cœur, de la sagesse. 106
59 à 61. De l'acquisition de la sagesse 108
62 à 65. Des esprits célestes 109
66. Le destin, etc. 110

Livre IV. — Résumé de tous les systèmes postérieurs aux écrits des grands maîtres de l'école.

LE SING-MING ET LE LI-KHI.

Introduction 111
Leur composition, leurs rédacteurs 112
Leurs systèmes : Nature et destin, substance et principe rationnel. 113

Partie I. — Sing-Ming. — Nature et Destin.

1. — *De la nature* 115

2. — *Du destin céleste* 117

1. Le Destin 117
2. La nature et la substance, *khi* 118
4. Doctrine de Bouddha 120
5. Maxime de Kong-tze; le décret céleste. 121
6. Différences entre les animaux et les hommes 121
7. Différences entre les animaux et les hommes d'après Li-song 121
8. Comparaison entre le destin de l'homme et les fonctions publiques. — Origine des fautes et des défauts. 123
9. Cause des inégalités des destins. 124
10. Le principe actif; la substance et la loi rationnelle. 124
11. Cause des différences que présente la substance des êtres 125
12. Meng-tze ne parlait que des facultés, non des actes. — Le *khi* et le *tchih*. 126
13. Le destin est-il double ou unique?. 127
14 et 15. Comparaison entre le décret céleste et les fonctions, les ordonnances du souverain 128

Digitized by Google

Pages.

16. Variétés du *li* et du *khi* 130
17. La nature, comment elle s'altère 130
18. La loi rationnelle et les vertus. — Ce qu'elles sont chez les animaux. . 131
19. Comment on doit entendre la bonté de la nature. — Opinion de Kong-tze, de Meng-tze et de Hiu-heng 132

3. — *Le cœur, la nature et la pensée* 132

1. Le cœur, la substance et ses actes, l'intelligence 132
2. Ce que veulent dire les termes : le cœur sort et rentre, le double cœur, l'absence de cœur, les passions 133
3. Le milieu et la paix du cœur; comment on connaît le cœur. 134
4. La contemplation inerte des Bouddhistes; la fermeté intérieure : comment on garde le milieu 136
5. Origine des pensées 137
6. Erreur des Bouddhistes concernant le cœur et la nature. 137
7. Vérité, nature, cœur et pensée 137
8. Erreur de Shao-tze. 138
9. Activité du cœur, son intelligence, explication du rêve 138
10. Degrés d'intelligence du cœur, cœur de la loi 139
11. Nature, pensée et réflexion 140
12. L'intention 140
13. L'intelligence de l'homme, des animaux et des plantes 141
14. Forme, souffle vital, esprit et principe rationnel 141

4. — *Les cinq vertus essentielles*. 141

1. Leur nature 141
2. Le cœur et la bonté, le cœur et les principes d'action. 142
3. La vertu principielle du ciel et de la terre. — Affection, compassion et bonté 142
4. Vérité, milieu et bonté 143
5. Le cœur du ciel et de la terre et les quatre principes d'action 143
6. Le cœur, l'affection et la bonté 144
7. Le cœur, la sagesse et les autres vertus 144
8. La vérité et la vertu 145
9. La bonté considère tout comme soi, comme un seul corps 146
10. Convenance, sagesse et rectitude 147

Partie II. — Li-khi. — Loi rationnelle et substance.

Introduction 148
Aperçu du système. — Ontogonie; *li* et *khi; tai-kih,* premier principe. — Formation du ciel, de la terre, des astres et des éléments; le yin et le yang 148

Digitized by Google

LI-KHI.

Pages.

CHAPITRE I. — *Principes suprêmes* LI *et* KHI 151
1. Leur nature; le yin et yang, le *tao* 151
2. Mode de formation des êtres par la combinaison de ces éléments; leurs composants; leurs différences 151
Le *Tai-kih* et le *li* 152

— II. — *Ciel et terre* 153
Leurs formes, leurs composants, leurs fonctions et leurs rapports dans la production des êtres. — Le Shang-Ti et le ciel. — La terre est ronde et n'a pas de milieu 154

— III. — *Le soleil* 155
1. Sa forme; ce qui le compose; sa marche 155
2. Le khi dont il est formé; le soleil et l'éther; la forme du ciel et de la terre d'après les vieux dictons 155
3. Le kih ou pôle; le corps du ciel. 156
4. Le soleil, la lune et l'étoile polaire 157
5. Le ciel et la terre. Le cœur du ciel et celui du saint . . . 157
6. Les composants du ciel et de la terre; leur position respective. 158
7. Leur mode de formation et celle des éléments 158
8. Le principe rationnel est sans étendue. 159
9. Erreur des Tao-sse quant au réceptacle supérieur du vent. . 159
10. Les neuf orbites du ciel 159

— IV. — *De la terre*. 160
11. Sa position, ses mouvements et ceux du ciel. 160
12. La lune et les étoiles ne sont pas le corps du ciel. La lumière de la lune 160
13. Nouvelle et pleine lune. 161
14 et 15. Lumière de la lune. Éclipse 161
16. Le pôle nord et l'étoile polaire 161

— V. — *Le Yin et le Yang* 162
17 et 18. Nature et opérations des deux principes. Le koua *ken* . . . 162
19. Le soleil, la lune et les deux principes. 163

— VI. — *Les cinq éléments*. 163
20. Leur nature, leurs rapports, leurs vertus 163

— VII. — *Les lois de l'astronomie*. 164
21. Le *Li-fa*, son utilité. 164
22. Rotation du ciel 165
23. Marche du soleil. 165
24. Marche de la lune 165

Digitized by Google

Pages.
25 et 26. Le jour; les conjonctions, etc. 165
27 et 28. Marche des astres; leurs explications 166
29 et 30. Écartement de l'écliptique; les rencontres. 167
31 et 32. Erreurs de Tzai-Yuen-Ting 168
33. Les éclipses selon Tcheng-thi. 168
34. Causes des calamités 168
35. Mouvement du ciel et des sept planètes 169

CHAPITRE VIII. — *Loi de la terre*. 170
36. Des montagnes et des fleuves. 170
37. Le flux et le reflux de la mer; leur cause et leurs variations. 171

Livre V. — Des principes gouvernementaux, rites, etc.

Objet de ce livre, ses différentes parties; parties choisies. 173

CHAPITRE II. — *Des écoles*. — Ancien état de choses. — Règles nouvelles. — Règles relatives aux maîtres. — Objets de l'enseignement. — Entrée en charge publique. — Système d'examen. — Titre de *docteur*. — Les anciennes écoles et leur dégénérescence 174

— VI. — *Des châtiments*. — Nécessité des châtiments et de la peine capitale. — Règles à suivre dans leur application; nécessité de l'indulgence qui toutefois ne doit point être trop grande comme elle se pratique aujourd'hui. — De l'instruction des affaires criminelles. — Les cinq genres de supplices 177

— VIII. — *Des prodiges et des présages*. — Les phénomènes célestes ne se produisent pas fortuitement; ils sont très souvent les signes de la satisfaction ou de la colère du ciel. Mais il n'en est pas toujours ainsi. C'est pourquoi il est mieux de ne pas se prononcer là-dessus et de laisser chacun sous l'empire de ses impressions personnelles. — Exemple donné par Kong-fou-tze dans le Tchun-tsiou. 180

Livre VI. — Cosmogonie actuelle des Chinois.

Résumé du système 183

CONCLUSION. — Motifs qui ont déterminé le choix des matières, l'étendue du présent ouvrage et les suppressions faites dans le texte du Sing-li-tsing-i. — L'école taoïste. 185

TABLE DES MATIÈRES 189

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

3 2044 093 257 798

Digitized by Google